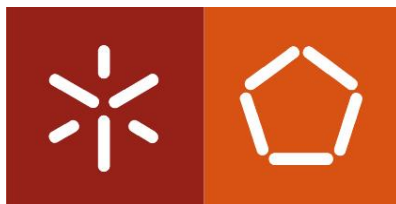


Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Ana Cristina da Silva Cortez

**Estratégias construtivas passivas para
a conceção de edifícios residenciais
não dependentes de sistemas ativos
de arrefecimento**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Ana Cristina da Silva Cortez

**Estratégias construtivas passivas para
a conceção de edifícios residenciais
não dependentes de sistemas ativos
de arrefecimento**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da

Professora Manuela Almeida e do

Arquiteto Marco Ferreira

Agradecimentos

O presente trabalho constitui o final de uma etapa muito importante da minha vida e vem marcar a despedida da minha vida académica. Como tal, não podia deixar de agradecer às pessoas que mais me ajudaram durante a realização da dissertação mas também aos que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional ao longo dos meus estudos académicos porque sem eles sem dúvida iria ser difícil encontrar forças diárias para continuar.

À minha orientadora Professora Doutora Manuela Guedes de Almeida e ao meu co-orientador Marco Ferreira pelo apoio ao longo da execução deste trabalho, motivação e disponibilidade demonstrada. A ambos agradeço tudo que me ensinaram e todas as sugestões e correções feitas ao longo deste trabalho.

Agradecer à minha família, em particular aos meus pais por toda a dedicação, esforço e motivação ao longo desta fase mas também ao longo de toda a minha vida académica.

Agradecer as minhas irmãs pela força e companheirismo, sem a ajuda delas todo este percurso se tornaria difícil.

Aos meus amigos e colegas que me acompanharam nesta fase e ao longo da minha vida académica, também a eles agradecer pelas palavras de incentivo ao longo de todo o curso.

Quero deixar a minha gratidão a todos aqueles que direta ou indiretamente me auxiliaram.

Resumo

Os edifícios são responsáveis por uma parte importante do consumo de energia em Portugal, sendo por isso necessário dar especial atenção às medidas de melhoramento da sua eficiência energética. As condições de conforto e bem-estar dos ocupantes são muitas vezes atingidas apenas com o recurso a sistemas mecânicos de climatização, tendo por isso o desempenho térmico dos edifícios de uma relevância significativa no consumo de energia dos edifícios.

Devido às alterações climáticas, as temperaturas tendem a sofrer um significativo aumento, o que poderá corresponder a verões mais quentes e longos e consequentemente a maiores gastos de energia para arrefecimento ambiente.

O presente estudo visa avaliar a influência de algumas medidas passivas de utilização corrente, tais como a variação do coeficiente de transmissão térmica na cobertura, paredes exteriores e pavimentos e a introdução e dimensionamento de elementos de sombreamento no desempenho energético dos edifícios na estação de arrefecimento, de forma a quantificar as necessidades energéticas de arrefecimento e procurar a eliminação das mesmas.

O presente trabalho utiliza um mecanismo de avaliação dos riscos de sobreaquecimento existente do regulamento nacional relativo ao desempenho energético dos edifícios (REH), nomeadamente o fator de utilização de ganhos, que pode variar entre 0 e 1 no arrefecimento, e que toma o valor de 0 sempre que o fator de utilização de ganhos seja superior ao respetivo fator de referência. Esta situação representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado, sendo dispensável a utilização de sistemas ativos para arrefecimento. Posto isto, pretende-se indicar estratégias construtivas para as diferentes zonas climáticas para que seja possível identificar as medidas que maior potencial apresentam para a eliminação da energia de arrefecimento nos edifícios.

Palavras-chave: Sobreaquecimento, necessidades energéticas de arrefecimento, medidas construtivas passivas

Abstract

Buildings are responsible for an important part of the energy consumption in Portugal, therefore it is necessary to give special attention to energy efficiency improvements. The comfort conditions and welfare of the occupants, many times, are only fulfilled with resource to active systems, and because of that, the thermal performance of the buildings have a huge relevance in the building's energy consumption.

Due to climate changes, the temperatures tend to suffer a significant increase which will correspond to hotter and longer summers, and consequently to a bigger energy consumption for cooling purposes.

The present study evaluates the influence of certain parameters such as the increase or decrease of the thermal transmission coefficient on the roof, external walls, pavement or the introduction and dimensioning of shading devices on the thermal performance of the buildings during the cooling season, quantifying the cooling energy needs and potential to eliminate the need of cooling active systems.

The present work uses a mechanism for the evaluation of risks of the overheating that exists in the national regulation related to the energy performance of the buildings (REH), namely the gain usage factor which can vary between 0 and 1 in the cooling season, assuming the 0 value every time the gain usage factor is superior to the reference factor. This represents conditions in which the risk of overheating is minimized, making the use of active cooling systems unnecessary. Hereupon this, it is intended to indicate the constructive strategies for the different climate zones so that it is possible to identify the measures which present the higher potential for eliminating the building's cooling energy.

Keywords: Overheating, Cooling energy needs, Passive design measures

Simbologia

g_{lvc} - Fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativado

α_n - Ângulo do horizonte

α - Coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca

β_{esq} - Pala vertical à esquerda

β_{dir} - Pala vertical à direita

U_{ref} - Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca de referência [W/m²]

U - Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca, [W/m²]

U_{wdn} - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos de vãos envidraçados

I_t - Massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento

M_{si} - Massa superficial útil do elemento i , [kg/m²]

r - Fator de redução da massa superficial útil

S - Área da superfície interior do elemento i , [m²]

A_p - Área interior útil de pavimento, [m²]

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

N_{ic} - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

N_{vc} - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

EL1 - Elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente

EL2 - Elementos em contacto com o solo

EL3 - Elementos de compartimentação interior da fração autónoma (parede ou pavimento)

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

R - Resistência térmica do revestimento superficial interior

DGEG - Direção-geral de Energia e Geologia

INE - Instituto Nacional de Estatística

AQS - Água quente sanitária

GD - Graus-dias

$\theta_{ext,v}$ - Temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento, [°C]

η_v - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento

$Q_{g,v}$ - Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kWh]

$Q_{tr,v}$ - Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh];

$Q_{ve,v}$ - Transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento, [kWh];

$H_{tr,v}$ - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, [W/°C]

$H_{ve,v}$ - Coeficiente de transferência de calor por ventilação devido à renovação do ar interior

$R_{ph,v}$ - Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento, [h⁻¹]

P_d - Pé direito médio da fração, [m]

$Q_{int,v}$ - Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor

$Q_{sol,v}$ - Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada

q_{int} - Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície igual a 4 W/m²

η_{vref} - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento de referência

H_{ext} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [W/°C]

H_{enu} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, [W/°C]

H_{ecs} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo, [W/°C]

H_{tr} - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão pela envolvente

F_g - Fração envidraçada

XPS - Isolamento térmico em espuma rígida poliestireno extrudido

EPS – Isolamento térmico de espuma em poliestireno expandido

g_{LTp} - Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes

$\psi_{calculado}$ - Coeficientes de transmissão térmica lineares

g_{Lvi} - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro, conforme informação do fabricante

g_{LT} - Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados

$F_{s,vnj}$ - Fator de obstrução da superfície do elemento n, com a orientação j

$A_{s,vnj}$ - Área efetiva coletora de radiação dólal da superfície do elemento n com a orientação j , $[m^2]$

n - Índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados com a orientação j

G_{solj} - Energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante toda a estação de arrefecimento, $[kWh/m^2]$

L_v - Duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas

Índice

Capítulo 1

| | |
|--|----------|
| INTRODUÇÃO, MOTIVAÇÃO E ORGANIZAÇÃO | 1 |
| 1.1 Introdução..... | 1 |
| 1.2 Motivação e objetivos do trabalho | 3 |
| 1.3 Enquadramento..... | 4 |
| 1.4 Organização do documento | 5 |

Capítulo 2

| | |
|--|----------|
| ESTADO DA ARTE | 7 |
| 2.1 Introdução..... | 7 |
| 2.2 Consumo de energia em Portugal | 8 |
| 2.3 Orientação solar | 10 |
| 2.4 Zonas Climáticas em Portugal..... | 12 |
| 2.5 Sistemas Passivos de arrefecimento | 13 |
| 2.5.1 Ventilação natural | 14 |
| 2.5.1.1 Ventilação unilateral..... | 14 |
| 2.5.1.2 Ventilação Cruzada | 15 |
| 2.5.2 Ventilação noturna | 16 |
| 2.5.3 Chaminé solar | 17 |
| 2.5.4 Arrefecimento pelo solo | 18 |
| 2.5.5 Arrefecimento Evaporativo..... | 18 |
| 2.5.8 Arrefecimento radiativo..... | 19 |
| 2.6 REH..... | 19 |
| 2.7 Sombreamento | 20 |
| 2.7.1 Sistemas de sombreamento exteriores e interiores | 21 |
| 2.7.2 Sistemas de sombreamento fixos ou móveis..... | 21 |
| 2.8 Inércia térmica | 23 |

| | | |
|--------------------------|--|----|
| 2.9 | Isolamento térmico | 26 |
| Capítulo 3 | | |
| Metodologia | | 29 |
| 3.1 | Considerações iniciais | 29 |
| 3.2 | Cálculo das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento | 29 |
| 3.2.1 | Transferência de calor por transmissão..... | 30 |
| 3.2.2 | Transferência de calor por renovação do ar | 30 |
| 3.2.3 | Ganhos térmicos | 31 |
| 3.3 | Descrição dos edifícios estudados | 33 |
| 3.3.1 | Caracterização do edifício I..... | 35 |
| 3.3.2 | Caracterização do edifício II | 37 |
| 3.3.3 | Características do edifício III | 38 |
| 3.4 | Estratégias construtivas para variar o fator de utilização de ganhos | 40 |
| 3.5 | Zonas Climáticas | 43 |
| Capítulo 4 | | |
| Casos de estudo..... | | 45 |
| 4.1 | Considerações iniciais | 45 |
| 4.2 | Condições iniciais | 46 |
| 4.2.1 | Caracterização climática da cidade de Portimão | 47 |
| 4.2.2 | Caracterização climática da cidade de Coimbra..... | 47 |
| 4.2.3 | Caracterização climática da cidade de Beja | 47 |
| 4.2.4 | Caracterização climática da cidade da Póvoa de Varzim | 48 |
| 4.2.5 | Caracterização climática da cidade de Braga | 48 |
| 4.2.6 | Caracterização climática da cidade de Tomar | 48 |
| 4.2.7 | Caracterização climática da cidade da Guarda..... | 48 |
| 4.2.8 | Caracterização climática da cidade de Vila Real | 48 |
| 4.2.9 | Caracterização climática da cidade de Mirandela | 49 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 4.2.10 | Caracterização climática da cidade do Porto..... | 49 |
| 4.2.11 | Caracterização climática da cidade de Lisboa..... | 49 |
| 4.3 | Considerações adicionais | 49 |
| Capítulo 5 | | |
| RESULTADOS | | 53 |
| 5.1 | Análise de resultados | 53 |
| 5.1.1 | Variação do fator de utilização de ganhos em Portimão..... | 54 |
| 5.1.2 | Variação do fator de utilização de ganhos em Coimbra | 57 |
| 5.1.3 | Variação do fator de utilização de ganhos em Beja..... | 60 |
| 5.1.4 | Variação do fator de utilização de ganhos na Póvoa de Varzim | 63 |
| 5.1.5 | Variação do fator de utilização de ganhos em Braga..... | 66 |
| 5.1.6 | Variação do fator de utilização de ganhos em Tomar | 69 |
| 5.1.7 | Variação do fator de utilização de ganhos na Guarda | 72 |
| 5.1.8 | Variação do fator de utilização de ganhos em Vila Real | 75 |
| 5.1.9 | Variação do fator de utilização de ganhos em Mirandela | 78 |
| 5.1.10 | Variação do fator de utilização de ganhos no Porto | 80 |
| 5.1.11 | Variação do fator de utilização de ganhos em Lisboa | 83 |
| Capítulo 6 | | |
| CONCLUSÕES..... | | 91 |
| 6.1 | Aspetos Gerais e Conclusões | 91 |
| 6.2 | Perspetivas futuras | 96 |
| Referências bibliográficas..... | | 97 |

Índice de figuras

Capítulo 2

| | |
|---|----|
| Figura 2. 1: Evolução do Consumo Total de Energia Final por setor de atividade (tep) - DGEG..... | 9 |
| Figura 2. 2: Consumo de energia por setor (INE 2012)..... | 9 |
| Figura 2. 3: Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia e tipo de utilização – INE 2010 | 10 |
| Figura 2. 4: Percursos do sol ao longo do ano (DGGE) | 11 |
| Figura 2. 5: Zonas climáticas de Portugal: a) Zona climática de verão; b) Zona climática de inverno (REH) | 13 |
| Figura 2. 6: Ventilação Unilateral (CAD) | 15 |
| Figura 2. 7: Exemplo ventilação cruzada (CAD) | 16 |
| Figura 2. 8: Ventilação Noturna (guiacasaeficiente) | 17 |
| Figura 2. 9: Chaminé solar (INEG) | 17 |
| Figura 2. 10: Arrefecimento pelo solo (INEG) | 18 |
| Figura 2. 11: Arrefecimento Evaporativo (ecologicasa)..... | 19 |
| Figura 2. 12: Exemplo de dispositivos móveis pelo exterior | 22 |
| Figura 2. 13: Exemplo da folha de cálculo IteCons dos vãos envidraçados exteriores | 23 |
| Figura 2. 14: Identificação dos elementos construtivos para o cálculo da inércia térmica interior | 26 |

Capítulo 3

| | |
|--|----|
| Figura 3. 1: Exemplo da folha de cálculo da IteCons do δ quando toma o valor de 0 | 33 |
| Figura 3. 2: Orientação do edifício I..... | 36 |
| Figura 3. 3: Orientação do edifício II..... | 38 |
| Figura 3. 4: Orientação do edifício III | 40 |

Capítulo 5

| | |
|--|----|
| Figura 5. 1: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Portimão..... | 54 |
| Figura 5. 2: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Portimão | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 5. 3: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Portimão | 56 |
| Figura 5. 4: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Coimbra | 58 |
| Figura 5. 5: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Coimbra | 58 |
| Figura 5. 6: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Coimbra..... | 60 |
| Figura 5. 7: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Beja..... | 61 |
| Figura 5. 8: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Beja | 62 |
| Figura 5. 9: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Beja | 63 |
| Figura 5. 10: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade da Póvoa de Varzim | 64 |
| Figura 5. 11: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade da Póvoa de varzim | 65 |
| Figura 5. 12: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade da Póvoa de Varzim | 66 |
| Figura 5. 13: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Braga | 67 |
| Figura 5. 14: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Braga | 68 |
| Figura 5. 15: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Braga..... | 68 |
| Figura 5. 16: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Tomar | 70 |
| Figura 5. 17: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Tomar | 71 |
| Figura 5. 18: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Tomar | 72 |

| | |
|---|----|
| Figura 5. 19: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade da Guarda | 73 |
| Figura 5. 20: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade da Guarda | 74 |
| Figura 5. 21: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade da Guarda..... | 74 |
| Figura 5. 22: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Vila Real | 76 |
| Figura 5. 23: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Vila Real..... | 77 |
| Figura 5. 24: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Vila Real | 77 |
| Figura 5. 25: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Mirandela..... | 78 |
| Figura 5. 26: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Mirandela | 79 |
| Figura 5. 27: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Mirandela | 80 |
| Figura 5. 28: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade do Porto | 81 |
| Figura 5. 29: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade do Porto..... | 82 |
| Figura 5. 30: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade do Porto | 83 |
| Figura 5. 31: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Lisboa | 84 |
| Figura 5. 32: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Lisboa..... | 85 |
| Figura 5. 33: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Lisboa..... | 85 |

Índice de tabelas

Capítulo 2

| | |
|--|----|
| Tabela 2. 1: Critérios para a determinação da zona climática de Inverno (REH) | 12 |
| Tabela 2. 2: Critérios para a determinação da zona climática de Verão (REH)..... | 12 |
| Tabela 2. 3: Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar g_{Tvc} | 23 |
| Tabela 2. 4: Classes de inércia térmica interior, I_t | 25 |

Capítulo 3

| | |
|---|----|
| Tabela 3. 1: Soluções construtivas dos diversos elementos e respetivo coeficiente de transmissão térmica, do edifício I..... | 35 |
| Tabela 3. 2: Pontes térmicas lineares do edifício I | 36 |
| Tabela 3. 3: Características dos envidraçados do edifício I | 36 |
| Tabela 3. 4: Soluções construtivas dos diversos elementos e respetivo coeficiente de transmissão térmica, do edifício II..... | 37 |
| Tabela 3. 5: Pontes térmicas lineares do edifício II..... | 38 |
| Tabela 3. 6: Características dos envidraçados do edifício II..... | 38 |
| Tabela 3. 7: Soluções construtivas dos diversos elementos e respetivo coeficiente de transmissão térmica, do edifício III | 39 |
| Tabela 3. 8: Pontes térmicas lineares do edifício III..... | 39 |
| Tabela 3. 9: Características dos envidraçados do edifício III..... | 40 |
| Tabela 3. 10: Zonas climáticas estudadas e respetiva cidade | 44 |

Capítulo 4

| | |
|--|----|
| Tabela 4. 1: Soluções iniciais de cada zona climática | 46 |
| Tabela 4. 2: Fator de utilização de ganhos dos edifícios e zonas climáticas estudadas..... | 50 |

Capítulo 5

| | |
|---|----|
| Tabela 5. 1: Tabela Comparativa entre os diferentes edifícios estudados e as diferentes zonas climáticas..... | 88 |
|---|----|

Capítulo 1

INTRODUÇÃO, MOTIVAÇÃO E ORGANIZAÇÃO

1.1 Introdução

Apesar da preocupação existente com a poupança energética, os edifícios continuam com um elevado consumo de energia, causando impactos significativos no ambiente e consequentemente o esgotamento de alguns recursos energéticos. Atualmente, os edifícios residenciais em Portugal são responsáveis por 17,7% do consumo final de energia segundo dados da Direção-Geral de Energia e Geologia, DGEG (DGEG,2011). É notório o peso que estes têm para o ambiente sendo por isso necessário intervir neste setor de forma a reverter a tendência do aumento de gastos energéticos.

Ao longo dos anos houve um aperfeiçoamento dos métodos construtivos levando ao aparecimento de edifícios cada vez mais estanques. Atualmente, a área dos envidraçados e a adoção de dispositivos de sombreamento no edifício, são questões que têm em vista principalmente as questões de estética e não o custo de investimento inicial verso a poupança de energia do edifício (Marta Panão, 2014).

Um outro fator é a exigência ao nível do conforto térmico dentro dos edifícios, que aumentou acompanhando o aumento dos padrões de vida, associado também ao aumento dos rendimentos das famílias e ao tempo passado dentro dos mesmos, o que levou a um aumento da energia para aquecimento e para arrefecimento.

Se um edifício for projetado tendo como principal foco as condições climáticas, será possível haver uma minimização de sistemas de aquecimento e arrefecimento dentro dos edifícios, minimizando assim a energia consumida e ajudando no combate dos problemas energéticos, tendo sempre em conta o conforto dos ocupantes.

Em Portugal, as estimativas referem que haverá aumento da procura de energia de arrefecimento no setor residencial, sendo dos setores com uma taxa de crescimento de uso energético mais elevada (PNAC, 2015). Isto acontecerá também devido ao previsto aumento das temperaturas médias no verão (AIE, 2015), o que consequentemente leva a um aumento do consumo energético nos edifícios e à necessidade de investimento na instalação de sistemas ativos que garantam o arrefecimento. Importa assim estudar estratégias construtivas passivas de arrefecimento de forma a eliminar o consumo de energia de arrefecimento e diminuir o impacto dos mesmos.

A escolha da técnica de arrefecimento mais apropriada depende de vários fatores, entre eles, as condições climáticas do local onde o edifício está inserido, as características do edifício e dos padrões de exigência dos ocupantes. Os sistemas passivos têm sido utilizados para minimizar o agravamento das condições térmicas (sobreaquecimento) nos edifícios, que resulta do facto de ser gerada artificialmente uma enorme quantidade de calor pelas atividades humanas (He e Hoyano, 2010) e pelo deficiente controlo dos ganhos solares.

Os sistemas passivos de arrefecimento são dispositivos construtivos que integrados nos edifícios ajudam ao arrefecimento natural, sem que para isso seja necessário aumentar o consumo energético do mesmo.

Para que o arrefecimento seja eficaz, o ar que entra no edifício deve ter uma temperatura inferior à do ar interior. A ventilação noturna, o arrefecimento pelo solo e a chaminé solar, constituem algumas das principais técnicas de ventilação natural, contudo é necessária uma eficaz implantação dos mesmos para que sejam eficientes na minimização ou eliminação da energia de arrefecimento.

É necessário perceber quais são então as soluções ao nível construtivo que mais influência têm nas necessidades energéticas de arrefecimento e assim conseguir elimina-las. Para isso é necessário recorrer ao regulamento relativo ao desempenho energético dos edifícios.

Com o intuito de melhorar a qualidade das novas habitações foi criado em 1990 o RCCTE (Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios) que teve como principal objetivo a melhoria da qualidade térmica da envolvente limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Em 2013 há uma alteração no regulamento para REH (Regulamento do Desempenho Energético dos edifícios de habitação) que impõe limites nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, aquecimento das águas quentes sanitárias (AQS) e da energia primária utilizada no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

1.2 Motivação e objetivos do trabalho

A realização deste trabalho tem como finalidade o estudo das estratégias construtivas passivas para a conceção de edifícios residenciais não dependentes de sistemas ativos de arrefecimento. Quando se pensa na aplicação de sistemas de arrefecimento passivo nos edifícios residenciais, é necessário ter em consideração esse facto desde o início do processo de conceção do edifício. A manutenção de um ambiente confortável para o ocupante no verão baseia-se na redução dos ganhos de calor no edifício e a remoção do excesso de calor do mesmo.

Pretende-se, com a ajuda do REH, perceber quais os parâmetros que influenciam de forma mais significativa as necessidades energéticas de arrefecimento de um edifício. Este estudo incide nas diferentes zonas climáticas com o intuito de perceber quais as estratégias construtivas que melhor se enquadram no contexto da cidade em análise.

Esta dissertação tem como objetivo apontar diferentes estratégias e linhas de orientação que permitam maximizar o potencial dos sistemas passivos de arrefecimento e analisar os que melhor se adaptam às condições de cada zona climática em Portugal.

Com este estudo, além de se dar a conhecer quais os fatores que levam à eliminação de sistemas de arrefecimento nos edifícios, também é necessário ter perceção das alterações que influenciam na diminuição das necessidades energéticas de aquecimento. Assim será possível reajustar os sistemas passivos de arrefecimento aos edifícios, minimizando a energia consumida nos mesmos e obter edifícios com um comportamento térmico mais eficaz no que se refere ao conforto térmico/consumo energético.

1.3 Enquadramento

A realização do presente trabalho de análise e estudo teve uma primeira fase de pesquisa sobre às diferentes soluções construtivas correntes e sobre a forma como as mesmas influenciam o desempenho dos edifícios. A adoção deste método de trabalho permitiu a aquisição e a consolidação de conhecimentos sobre o tema, para que assim fosse possível um melhor entendimento dos mesmos no comportamento térmico das habitações.

Os objetivos identificados no subcapítulo anterior foram conseguidos através da utilização da Folha de Cálculo de Aplicação do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) do ITeCons. Esta folha de cálculo é uma ferramenta de apoio na pesquisa de informação aplicável ao REH, onde é preenchida toda a informação necessária do edifício em estudo e emitido um certificado energético do mesmo.

Recorrendo ao REH pode-se identificar um método expedito para avaliar a necessidade energética dos edifícios, que consiste no fator de utilização de ganhos e a sua comparação com o valor de referência para o mesmo edifício. Se o fator de utilização de ganhos for maior que o valor de referência, então o edifício não necessita da utilização de sistemas ativos de arrefecimento, não estando assim dependente desses sistemas. Este fator depende da massa térmica, dos ganhos e perdas de calor do edifício, tendo que haver um equilíbrio dos mesmos. O cálculo deste fator consiste num balanço entre os ganhos de calor e a transferência de calor para os 4 meses de verão. Através deste pode-se perceber qual o impacto da solução construtiva no edifício. Com este trabalho pretende-se dar a conhecer qual ou quais as alterações nos elementos da solução construtiva que mais impacto tem na energia primária de arrefecimento, para que seja possível eliminar a necessidade de sistemas de arrefecimento.

Numa primeira fase do trabalho, e recorrendo à folha de cálculo, foi analisado de que forma as alterações feitas num edifício modificavam a energia primária de arrefecimento e consequentemente de aquecimento. De seguida, e com base nos resultados obtidos nas diferentes zonas climáticas de Portugal e diferentes alterações realizadas, foi necessário perceber qual ou quais as alterações que mais benefícios trazem para a conceção do edifício. Assim, é possível compreender de que forma estas alterações conseguem eliminar a utilização dos sistemas de arrefecimento nos edifícios.

Numa segunda fase, procedeu-se à comparação dos vários resultados obtidos nas diferentes zonas climáticas e nos diferentes edifícios estudados. Com isto pretende-se que seja possível identificar quais os elementos que mais influência tem na eliminação dos sistemas de arrefecimento e na energia de aquecimento.

1.4 Organização do documento

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, descrevendo-se em seguida, e de forma sucinta, o conteúdo de cada um.

No primeiro capítulo, para além do enquadramento, são apresentados os objetivos e a motivação para desenvolvimento deste trabalho, assim como a metodologia que foi adotada ao longo do seu desenvolvimento.

No segundo capítulo é efetuada a introdução ao tema de forma a perceber a relevância do mesmo e o porquê do seu estudo, onde muito sucintamente se dá a conhecer a energia consumida em Portugal, em especial no setor doméstico. É abordada a orientação solar para melhor perceber no que esta influencia ao nível dos ganhos solares no verão e melhor posicionar os envidraçados nos edifícios. Outro dos aspetos tratado são as zonas climáticas de Portugal, pois estas vão influenciar no comportamento térmico dos edifícios. São ainda estudados os sistemas de arrefecimento passivo existentes, de forma alternativa aos sistemas de arrefecimento ativos e por último o REH, onde se explica quais os fatores que depois vão ter impacto no cálculo da energia primária de arrefecimento.

No terceiro capítulo são analisados três edifícios e as soluções construtivas dos mesmos, de forma a observar o impacto dessas soluções no seu comportamento energético. Para o efeito é analisado segundo a consulta do REH, quais as alterações nas soluções construtivas iniciais que tendo em conta as diferentes zonas climáticas estudadas, mais influenciam o fator de utilização de ganhos.

No quarto capítulo é apresentada a energia de arrefecimento e o fator de utilização de ganhos dos edifícios estudados com as soluções construtivas iniciais.

No quinto capítulo são apresentados os resultados da análise realizada aos vários edifícios. Em primeiro lugar ao edifício novo que apresenta um melhor comportamento térmico, onde são estudadas para o respetivo edifício o seu comportamento nas diferentes zonas climáticas, e o impacto de cada alteração. O mesmo é efetuado para os outros dois edifícios, de diferentes anos de construção e com diferentes soluções construtivas, sendo um deles sem isolamento.

No sexto capítulo é realizada uma análise dos resultados e considerações finais para as diferentes zonas climáticas de Portugal com o objetivo de identificar quais as zonas em que é possível os sistemas de arrefecimento ativos serem eliminados. Tendo sempre em atenção não só a eliminação das necessidades de sistemas de arrefecimento, mas também as necessidades

energéticas de aquecimento. Nas zonas onde isso não se torne possível, é exposta a solução que mais reduz a energia de arrefecimento e de aquecimento, se exequível.

Capítulo 2

ESTADO DA ARTE

2.1 Introdução

Atualmente torna-se cada vez mais importante falar sobre o consumo de energia dos edifícios, devido às alterações climáticas e à grande fatia de energia consumida que os edifícios representam em Portugal. Apesar de o setor residencial gastar em média apenas 0,5% de energia para arrefecimento do ambiente, muito abaixo dos 21,5% para aquecimento [INE/DGEG,2010], existe uma tendência clara para o aumento do consumo de energia para arrefecimento, por força de maiores exigências de conforto, mas também porque um conjunto de medidas de eficiência energética para reduzir as necessidades de aquecimento, conduzem em contrapartida a um aumento das necessidades energéticas para arrefecimento. Cumulativamente, estudos apontam para um aumento significativo da temperatura média em Portugal, assim como um aumento da temperatura máxima no verão que pode chegar até os 4°C [AIE,2015], o que irá ainda mais conduzir ao incremento do consumo energético para satisfazer as condições de conforto no verão. Existindo assim verões mais quentes e longos, é

previsto nos próximos 15 anos um aumento da procura de energia de arrefecimento nos edifícios de 72% e um decréscimo de 30% da energia de aquecimento na Europa (Quercus, 2015).

Nos dias de hoje o Homem passa grande parte do seu tempo dentro das edificações, pelo que se torna necessário garantir que os edifícios ofereçam níveis de conforto térmico adequados. A definição de conforto térmico é complexa, pois integra um conjunto de fatores que estão associados não só às condições climáticas, como ao modo como o ocupante responde às condições do ambiente interior e o modo como pode afetar a qualidade do espaço do edifício. Neste sentido, os edifícios têm vindo a ser dotados de sistemas de aquecimento e arrefecimento para que haja um aumento do conforto térmico, resultando num aumento da energia consumida nos edifícios. Também o aparecimento de edifícios onde predominam edifícios com extensas áreas de envidraçados, com proteções solares só pelo interior ou a adoção de paredes leves e tetos falsos, podem conduzir ao aumento do consumo de energia para arrefecimento.

Torna-se assim importante encontrar estratégias construtivas passivas para a redução do consumo de energia, assegurando por sua vez o conforto térmico nos edifícios e a estética dos mesmos.

A qualidade da construção tem aqui um ponto fulcral para minimizar os sistemas de aquecimento e arrefecimento e minimizar a energia consumida nos edifícios, combatendo os problemas energéticos.

Na verdade, a maior parte do país está localizado num clima temperado mediterrânico de acordo com a classificação climática de Köppen [Köppen e Geiger, 1936] e grande parte da população vive nessas áreas. Segundo Köppen mesmo nas regiões de clima quente do Mediterrâneo, as temperaturas médias mensais nunca vão acima de 25 ° C e há uma forte variação de temperatura entre o dia e a noite. Portugal apresenta assim características naturais que podem ser usadas para evitar a necessidade de sistemas de arrefecimento.

Posto isto, é necessário responder às necessidades crescentes da construção, procurando soluções inovadoras e de qualidade e procurando igualmente soluções para a conceção de edifícios residenciais não dependentes de sistemas de arrefecimento.

2.2 Consumo de energia em Portugal

Os edifícios, como indica a Figura 2.1, são responsáveis por uma parte importante do consumo de energia em Portugal, sendo por isso um tema em destaque nas ações globais, com medidas que

visam melhorar a sua eficácia energética.

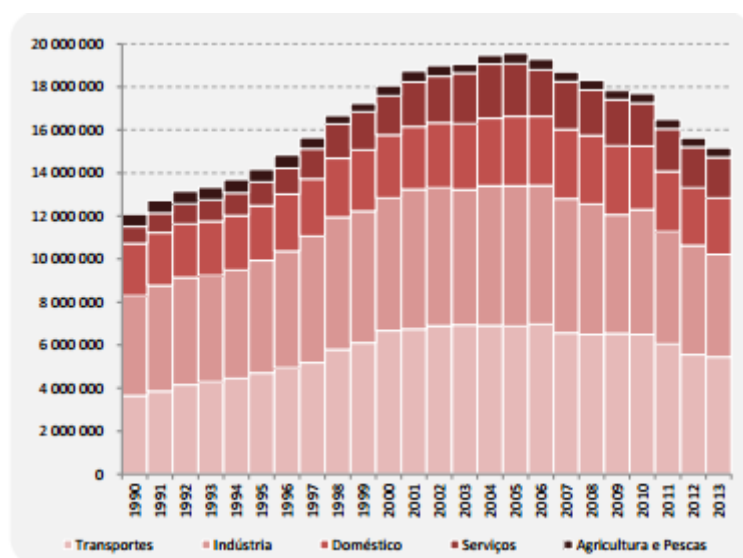


Figura 2. 1: Evolução do Consumo Total de Energia Final por setor de atividade (tep) - DGEG

Nos tempos de hoje chega-se a passar cerca de 90% do tempo dentro dos edifícios, sendo que em 2013, segundo os dados da DGEG, o setor residencial foi o terceiro maior setor de consumo em Portugal, depois do setor de transportes e indústria. Pode-se perceber isso recorrendo à Figura 2.2, onde indica que 17% do consumo de energia final em 2012 corresponde ao setor doméstico. Esta parcela considerável de energia no setor residencial deve-se à melhoria de poder de compra que se traduz no aumento de conforto e dos equipamentos instalados em suas casas.

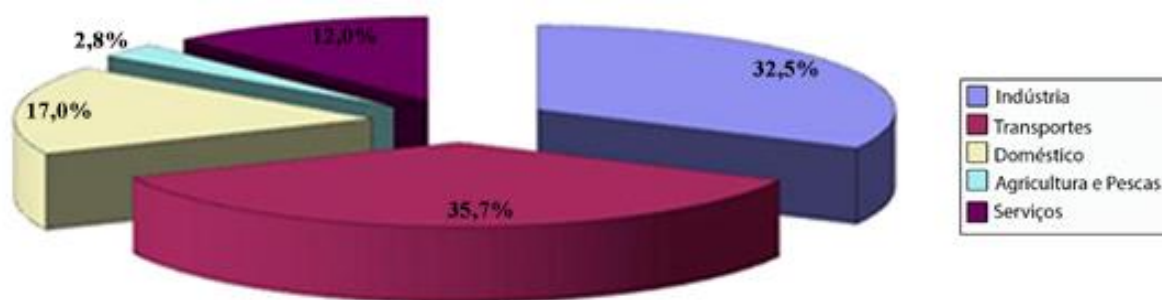


Figura 2. 2: Consumo de energia por setor (INE 2012)

Há uma transformação do mercado no que toca a equipamentos mais eficientes, de forma a estimular o setor para o desenvolvimento de produtos cada vez mais competitivos a nível de custo e eficiência no mercado.

Segundo a Figura 2.3 e o INE (2010), a cozinha tem o maior peso em termos de consumo de energia da habitação, com cerca de 39,1%, em seguida é o aquecimento de águas quentes (AQS) que obtém a maior fatia com 23,5%. O consumo de energia vai variar consoante os

ocupantes, mas tanto na cozinha como o aquecimento de águas serão sempre os que mais exigem energia.

A energia consumida para aquecimento e arrefecimento do ambiente interior representava, em 2010, 24% do consumo total de energia nas habitações. Desta forma, o aquecimento e arrefecimento do ambiente tornam-se importantes para se minimizar o consumo de energia na habitação, pelo que será necessário optar por mecanismos eficientes e sistemas passivos para que tal se torne possível.

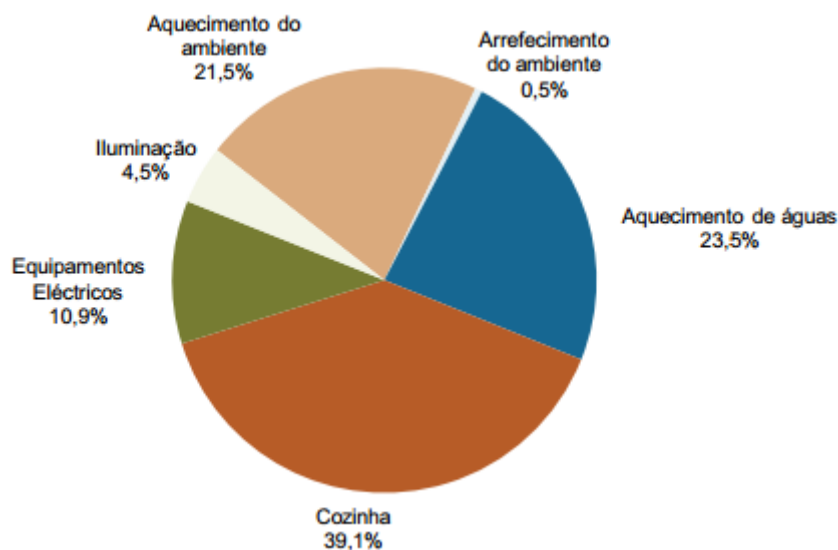


Figura 2. 3:Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia e tipo de utilização – INE 2010

2.3 Orientação solar

Quando se projetam os edifícios tem-se de dar uma especial atenção à orientação solar do local onde o edifício vai ser construído para que haja um máximo aproveitamento da radiação solar.

O sol no inverno tem um papel preponderante para o conforto térmico dos ocupantes de forma a maximizar os ganhos térmicos e contribuindo para o aumento da temperatura interior, no verão é uma fonte a evitar para que esse aumento de temperatura no interior não seja tão acentuado.

Torna-se assim importante estudar o movimento do sol ao longo do ano e a radiação incidente, para que os edifícios estejam preparados na perspetiva de maior aproveitamento das horas de sol.

Em Portugal, tendo em conta onde se situa o país, o quadrante Sul é aquele que recebe maior radiação solar ao longo do dia, por esta razão deve ser onde se devem posicionar as janelas para que haja um maior aproveitamento de ganhos solares.

Contudo também é necessário um estudo do efeito dos sombreamentos das palas e dos sombreamentos dos edifícios adjacentes, para que se saiba qual a energia que realmente incide diretamente no interior do edifício. É necessário encontrar um equilíbrio quando se fala de sombreamento, para que haja visibilidade no interior do edifício, e no verão impeça a entrada de ganhos solares indesejados no interior do edifício, pretendendo-se assim que estes sejam controladores solares.

O sol durante o ano muda a sua posição, alterando assim a duração dos dias e das noites no Norte e no Sul. Existem assim os solstícios e os equinócios durante o ano, que em Portugal ocorrem em 21 de dezembro o solstício de Inverno, a 21 de junho o solstício de Verão e 21 de março / 21 de setembro os equinócios.

O solstício corresponde ao instante em que o Sol atinge a sua declinação máxima ou mínima, dependendo do hemisfério em questão. No solstício de Inverno conforme mostra a Figura 2.4 o sol nasce relativamente próximo da orientação Sudeste e põe-se relativamente próximo da orientação Sudoeste, é a altura do ano onde o ângulo do sol se encontra com valores mais baixos.

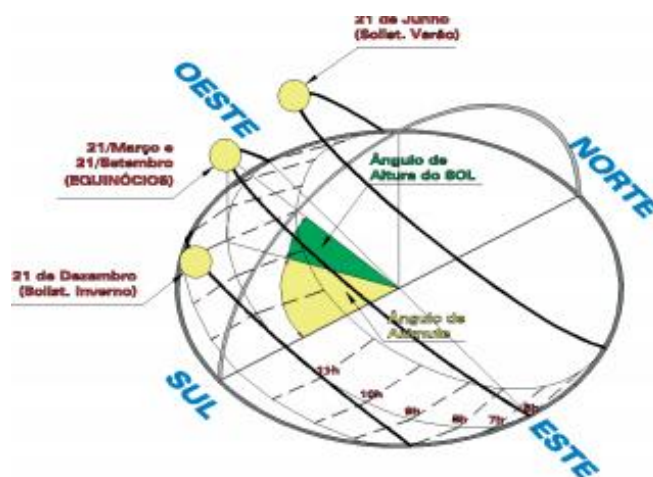


Figura 2. 4: Percursos do sol ao longo do ano (DGGE)

No solstício de verão o sol nasce relativamente próximo da orientação nordeste e põe-se relativamente próximo da orientação Noroeste, o ângulo do sol apresenta os valores mais altos de todo o ano, ou seja, é quando o sol incide com maior intensidade sobre o hemisfério.

Os equinócios são o intermedio entre o solstício de inverno e o solístico de verão em determinado hemisfério, pois a luz solar incide com maior intensidade sobre a linha do equador. O sol nasce na orientação Este e põe-se exatamente na orientação oeste.

2.4 Zonas Climáticas em Portugal

O clima pode influenciar a forma do edifício, assim como processos e soluções construtivas utilizadas. Desta forma o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) divide Portugal por três zonas climáticas de Verão (V1,V2 e V3) e três zonas climáticas de Inverno (I1,I2 e I3).

Cada uma dessas zonas tem exigências diferentes no inverno e no verão, sendo importante analisar cada zona para adotar as melhores e mais eficazes estratégias construtivas.

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) como mostra a Tabela 2.1, na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento e as zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext, v}$) como se observa na Tabela 2.2.

Tabela 2. 1: Critérios para a determinação da zona climática de Inverno (REH)

| Critério | $GD \leq 1300$ | $1300 < GD \leq 1800$ | $GD > 1800$ |
|----------|----------------|-----------------------|-------------|
| Zona | I1 | I2 | I3 |

Tabela 2. 2: Critérios para a determinação da zona climática de Verão (REH)

| Critério | $\theta_{ext, v} \leq 20^{\circ}\text{C}$ | $20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext, v} \leq 22^{\circ}\text{C}$ | $\theta_{ext, v} > 22^{\circ}\text{C}$ |
|----------|---|--|--|
| Zona | V1 | V2 | V3 |

Observa-se assim que os conjuntos de concelhos com idênticas características de inverno e de verão, representam, na maioria dos casos, zonas geográficas bem definidas, conforme se pode verificar nas Figuras 2.5 a) e b):

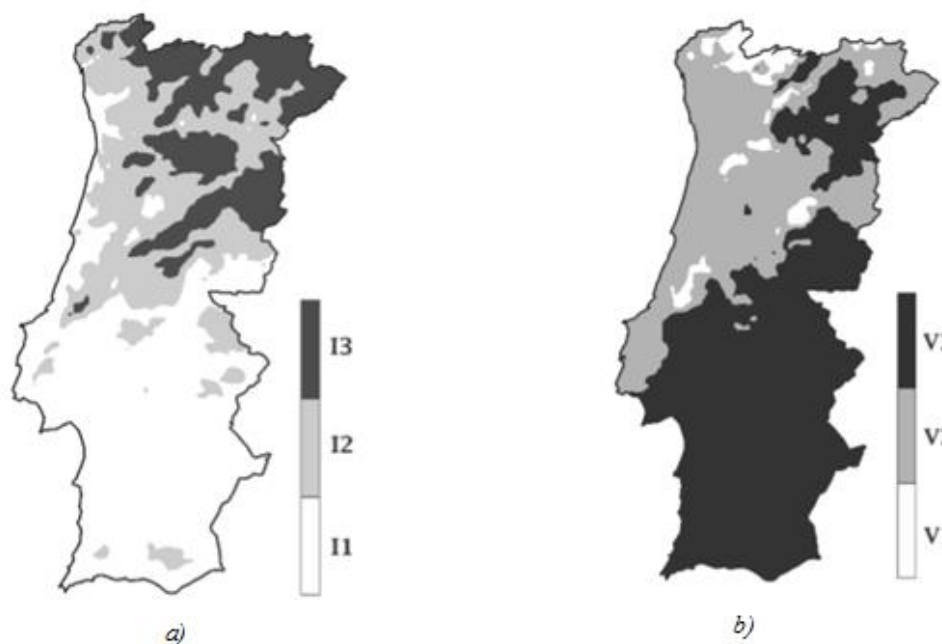


Figura 2. 5: Zonas climáticas de Portugal: a) Zona climática de verão; b) Zona climática de inverno (REH)

Os edifícios são projetados de forma a tolerar o inverno e o verão das diferentes zonas climáticas adotando estratégias adequadas. No inverno as estratégias são isolar a envolvente e promover os ganhos solares, enquanto no verão incide na restrição dos ganhos solares.

Para evitar ganhos solares tanto na estação de inverno como na estação de verão é necessário isolar a envolvente para que não haja transmissão de calor do interior para o exterior e inversamente.

Quanto aos ganhos solares não se pode adotar a mesma estratégia no verão e no inverno, pois os objetivos são antagónicos.

Torna-se assim necessário que haja uma preocupação na arquitetura e na realização dos edifícios de forma a analisar as nove zonas climáticas e as projetar para o melhor desempenho, tanto na estação de Verão como na estação de Inverno.

É imprescindível evitar a utilização de sistemas de arrefecimento quando possível e contribuir para um melhor desempenho global dos edifícios, nunca esquecendo que cada zona tem necessidades diferentes e preocupações de Verão e Inverno diferentes.

2.5 Sistemas Passivos de arrefecimento

Entende-se por sistemas passivos de arrefecimento dispositivos construtivos integrados nos edifícios que têm como principal objetivo contribuir para o arrefecimento natural do mesmo, minimizando assim as necessidades de energia de arrefecimento.

Importa assim tirar partido das fontes frias que permitem arrefecer o edifício no verão. Uma fonte fria é o ar exterior, em que durante a noite e até de manhã apresenta temperaturas inferiores à temperatura do interior do edifício. Uma outra fonte fria é o solo, pois este tem sempre uma temperatura inferior à temperatura do ar exterior e interior, ajudando assim a arrefecer o edifício quando em contacto com o mesmo. Tem-se também como sistemas de arrefecimento passivo a ventilação natural, arrefecimento pelo solo, arrefecimento evaporativo e arrefecimento radiativo. Este trabalho não incide sobre estes sistemas passivos de arrefecimento, contudo é dada uma breve explicação dos mesmos de forma a dar a conhecer a importância destes para a estação de arrefecimento.

As medidas testadas com este trabalho são as soluções construtivas correntes para cada elemento construtivo de forma a perceber a relevância destes no desempenho energético do edifício.

2.5.1 Ventilação natural

A ventilação consiste na troca de ar que se encontra no interior de determinado espaço por ar fresco, relativamente mais limpo, geralmente proveniente do exterior. A forma mais usual de criar movimento de ar é abrir as janelas do edifício e permitir que ar mais fresco penetre no interior. A ventilação é importante para que haja uma renovação do ar interior e para que haja um maior conforto para os ocupantes. Um défice de ventilação leva a um problema de condensação e consequentemente ao aparecimento de fungos ou bolores. Alguns parâmetros importantes para melhorar a eficiência térmica da ventilação natural são: a forma e a orientação da edificação; a previsão de espaços internos para facilitar o fluxo vertical do ar; e a utilização de elementos arquitetónicos para direcionamento do fluxo de ar para o interior com aproveitamento máximo dos ventos dominantes no local.

2.5.1.1 Ventilação unilateral

A ventilação unilateral é caracterizada com uma única abertura, sendo que a renovação e movimento do ar é efetuado por apenas uma fachada estando sujeita apenas às condições climáticas da parede onde esta a abertura, como mostra a Figura 2.6.

Atendendo que só existe uma abertura, essa deverá ser colocada na fachada exposta aos ventos dessa região para maximizar o efeito do vento na ventilação do edifício.

Este tipo de ventilação é menos eficiente, pois a saída e a entrada de ar só se dá por uma única abertura o que se torna difícil obter resultados. Pode-se assim colocar duas aberturas afastadas entre si, para que haja uma maior ventilação no edifício (Figura 2.b).

Quando a temperatura no interior do edifício é maior que a temperatura do exterior, o ar frio entra a partir da parte mais baixa da abertura enquanto o ar quente sai através do nível mais alto da mesma. Se ocorrer o inverso então o sentido do fluxo é invertido.

Para que haja uma maior eficácia na ventilação natural é necessário ter em atenção a localização e orientação do edifício, de forma a potenciar a entrada de vento pela abertura na fachada selecionada. Além disso é indispensável conhecer as condições do meio circundante, para tirar vantagem do mesmo, consoante a forma e dimensões do edifício.

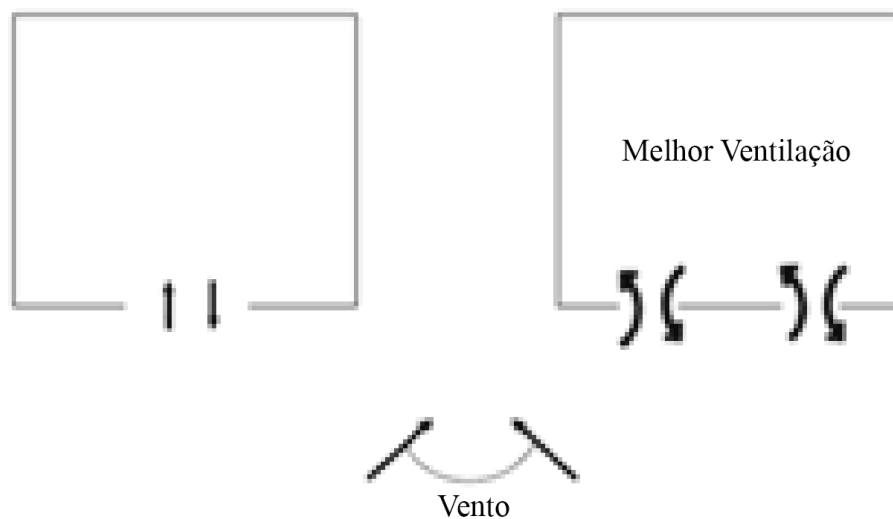


Figura 2. 6: Ventilação Unilateral (CAD)

2.5.1.2 Ventilação Cruzada

A ventilação cruzada ocorre sempre que existam duas ou mais aberturas em lados opostos do edifício, permitindo uma maior circulação de ar no interior do mesmo (Figura 2.7). A ventilação cruzada é a diferença de pressão provocada pelo vento no edifício. É importante ter em conta o posicionamento das aberturas, para que a incidência do vento nessa região seja aproveitada da melhor forma. O número de trocas de ar é determinado pelo tamanho das aberturas de entrada e saída de ar, sendo que, se o vento é obrigado a mudar de direção dentro do edifício então este terá uma ventilação mais eficaz.

A quantidade de ar quente removido do interior do edifício por taxa de fluxo de ar, depende das diferenças de temperatura entre o exterior e o interior.

Segundo Brown e Dekay (2004), a ventilação cruzada tem mais potência se as entradas de ar se localizarem na área de alta pressão e as saídas nas áreas de baixa pressão ou sucção.

Tem como principal vantagem a renovação do ar e diminuição da temperatura no interior dos edifícios, constituindo assim uma mais-valia para a ventilação do edifício sem recorrer a ventilação mecânica.

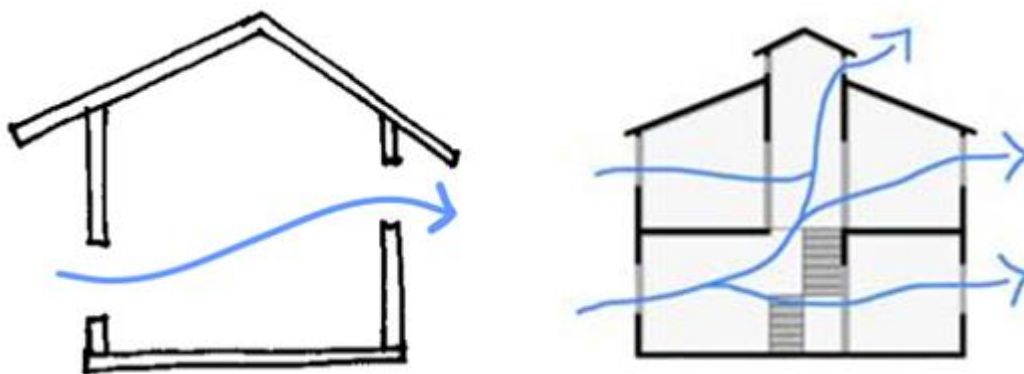


Figura 2. 7:Exemplo ventilação cruzada (CAD)

2.5.2 Ventilação noturna

A ventilação noturna, como mostra a Figura 2.8, é utilizada para arrefecer o interior do edifício e remover o calor armazenado durante o dia nas paredes, impedindo assim a acumulação de calor. São aproveitados os ventos da região e promovendo a abertura de passagem de ar ao longo do edifício no período noturno com temperaturas mais baixas (18°C a 20°C), beneficiando da temperatura ser mais baixa durante a noite.

É um tipo de ventilação natural menos eficaz em ambientes que são geralmente mais quentes e húmidos, pois as temperaturas do ar à noite são elevadas.

É importante ter em atenção o clima em que está situado o edifício, para que não se torne num ponto negativo e até ponha em causa o conforto térmico dentro da habitação. A ventilação noturna é mais utilizada quando durante o dia não é possível a ventilação natural através da abertura das janelas, acumulando assim calor no interior do edifício. Este acaba por sair através da ventilação noturna.

Tem também como principal função reduzir a temperatura da estrutura do edifício como as lajes, pilares, para que o interior fique a uma temperatura no verão mais próxima do conforto térmico.

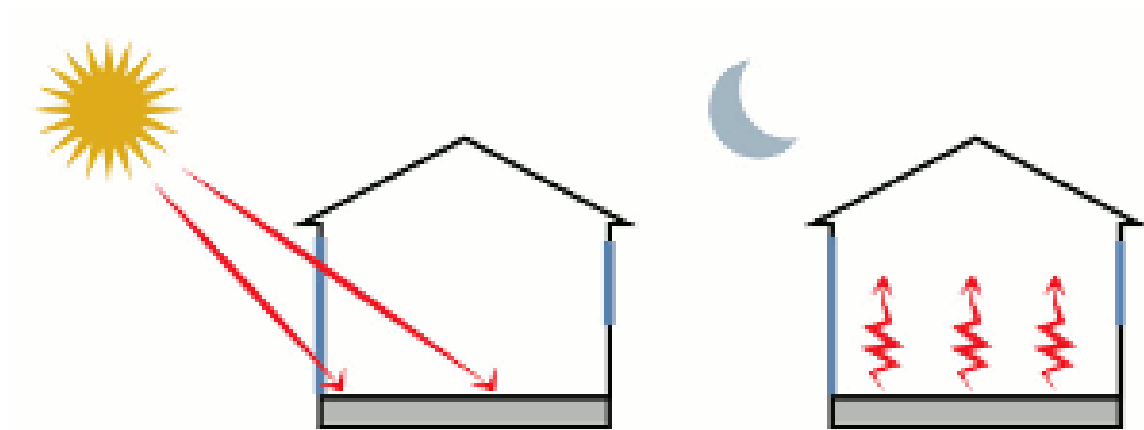


Figura 2. 8:Ventilação Noturna (guia casa eficiente)

2.5.3 Chaminé solar

A chaminé solar permite extrair o ar quente dos espaços ocupados no interior para o exterior. Este tem maior eficácia nas regiões onde não existe vento ou onde os obstáculos não permitem que o vento entre pelos envidraçados. Ao colocar uma abertura na parte superior do edifício, o ar quente vai ser expelido e substituído por ar fresco que entra por aberturas junto ao pavimento, como mostra a Figura 2.9. O ar deve ser introduzido pela zona mais fresca do edifício, geralmente a fachada norte. Uma solução para este problema consiste em instalar uma câmara com um captador de cor escura protegido por um vidro, aquecendo o ar na parte superior, produzindo um efeito de sucção maior. As câmaras solares são orientadas a sul, este ou oeste, conforme o horário de utilização requerido. Este sistema é também vantajoso por obter um maior rendimento nas alturas de maior radiação solar, quando a ventilação é mais necessária.

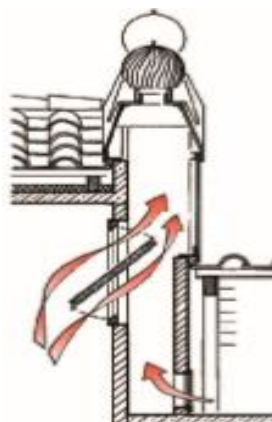


Figura 2. 9:Chaminé solar (INEG)

2.5.4 Arrefecimento pelo solo

O arrefecimento passivo através do solo constitui uma forma eficaz e económica para o arrefecimento dos edifícios. No verão o solo apresenta temperaturas inferiores à temperatura do ar interior e exterior, tornando-se assim uma importante fonte fria que poderá ser aproveitada no arrefecimento do edifício.

Este sistema de arrefecimento consiste na introdução de orifícios no interior do edifício e de tubos enterrados no solo. Assim estes vão ajudar à circulação do ar e à dissipação do excesso de calor acumulado no edifício. Estes tubos são colocados na horizontal, a uma determinada profundidade, entre 2 a 4m, e com ventoinhas que tem como função ajudar a circulação do ar no interior dos tubos e posteriormente inserir ar fresco no edifício, como mostra a Figura 2.10. O desempenho deste sistema depende da profundidade a que é colocado, do material da tubagem que deve favorecer as trocas térmicas, da temperatura a que se encontra o solo e também da velocidade do ar que circula no interior da tubagem.

Como vantagens tem-se a simplicidade quer na implementação, quer no funcionamento deste sistema, pois não requer mão-de-obra especializada para o efeito e o baixo custo de manutenção.

É necessário ter um cuidado especial com estes sistemas na medida em que estes acumulam poeira e lixo no interior da tubagem proveniente do exterior devido à ação do vento e podem levar a existência de insetos no seu interior. Também os tubos devem estar enterrados em zonas sombreadas de forma a que a temperatura seja o mais baixa possível.

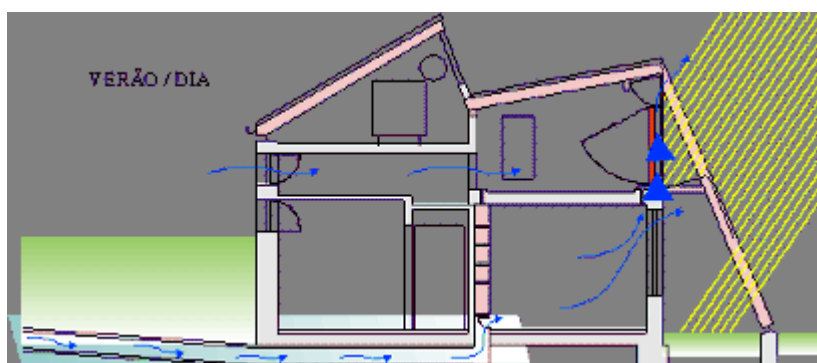


Figura 2. 10:Arrefecimento pelo solo (INEG)

2.5.5 Arrefecimento Evaporativo

O sistema passivo de arrefecimento evaporativo consiste na diminuição da temperatura relacionada à mudança de fase da água, do estado líquido ao estado de vapor.

As fontes, jardins, piscinas próximas das aberturas de entrada de ar, fazem com que o ar quente absorva um pouco de humidade desses elementos, o que ajuda a redução da sensação de calor interno dentro do edifício (Figura 2.11).

Este tipo de arrefecimento é mais eficaz em climas secos, visto que estes não excedem os 50% de humidade relativa. A evaporação direta ocorre quando o ar passa pela vegetação, por lagos ou piscinas, ou outras zonas húmidas em evaporação.

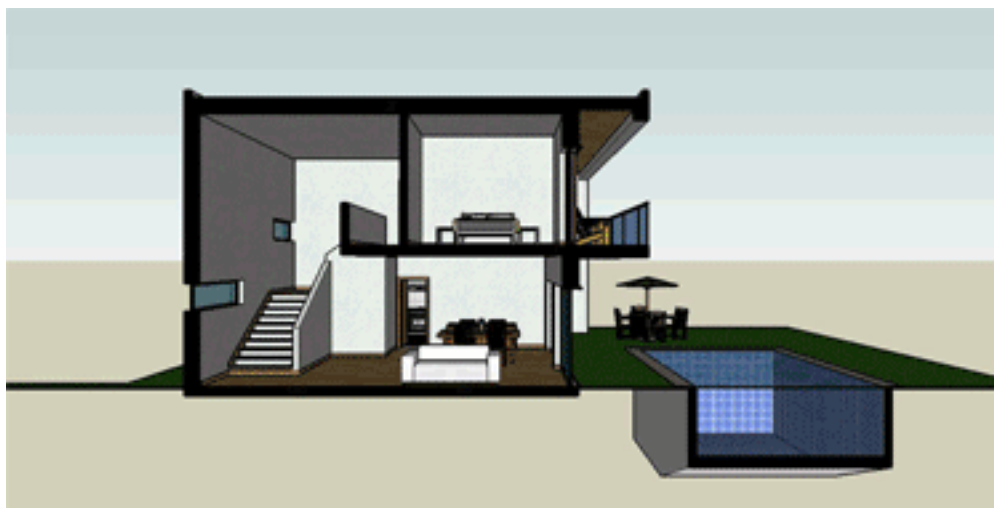


Figura 2. 11:Arrefecimento Evaporativo (ecologicasa)

2.5.8 Arrefecimento radiativo

Nos edifícios durante a estação de verão são as coberturas que mais radiação recebem, devido ao sol andar mais alto. Assim são dotadas de mais isolamento para que sejam minimizados os ganhos solares pela cobertura. Mas a cobertura de um edifício pode ser usada também como um sistema passivo de arrefecimento e uma solução rentável para o efeito.

No verão a temperatura à noite é mais baixa devido a falta de radiação solar direta, assim a cobertura do edifício arrefece através da radiação emitida para o céu, existindo circulação forçada do ar exterior para o interior. Este sistema de arrefecimento passa a promover as perdas de calor durante a noite e a arrefecer a temperatura do interior da habitação.

A eficácia deste sistema vai depender da temperatura ambiente, humidade relativa, velocidade do vento e nebulosidade.

2.6 REH

O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação tem como principal objetivo “estabelecer os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a

intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.” [REH]

Os requisitos estão baseados no comportamento térmico e a eficiência dos sistemas nos edifícios, sendo estes um fator importante para que as habitações sejam cada vez mais eficientes. Este vem ao encontro do pretendido pela União Europeia para 2018/2020, que as necessidades de energia nos edifícios sejam quase nulas. A revisão da diretiva para os edifícios (EPBD), diz que os edifícios devem ter um desempenho energético muito elevado em que as necessidades de energia são quase nulas, os edifícios deverão ser altamente eficientes. Estes edifícios passam a ser edifícios nZEB (nearly zero energy buildings), pois conseguem suprir as necessidades energéticas garantindo assim um balanço anual energético quase nulo.

Para tal o REH passa a beneficiar a ventilação natural em vez da ventilação mecânica para que haja uma redução da energia consumida e um desempenho energético que não afete o conforto térmico dos ocupantes.

2.7 Sombreamento

A radiação solar entra para dentro dos edifícios através dos envidraçados, sendo que estes são os principais responsáveis pelos ganhos solares na envolvente. Assim, uma das estratégias para restringir os ganhos solares excessivos na estação de arrefecimento e diminuir também o consumo energético, é dotar o edifício de dispositivos de sombreamento.

Os sistemas de sombreamento são elementos importantes na conceção de edifícios pois ajudam a contribuir para um bom desempenho energético e para o conforto dos seus ocupantes, de forma a responder às preocupações ambientais e arquitetónicas. É necessário um especial cuidado no dimensionamento dos dispositivos de sombreamento, para que sejam tidos em conta tanto os aspetos funcionais com os aspetos estéticos dos mesmos. O sombreamento do edifício tem como principal objetivo o controlo da radiação solar, procurando evitar o sobreaquecimento no verão, mas por outro lado permitir a captação de ganhos solares no Inverno.

Outro dos objetivos é permitir a visibilidade para o exterior e uma adequada iluminação dentro do edifício. A questão aqui é como conjugar todos estes fatores para otimizar o

contributo destes elementos. O sombreamento tem grande impacto na energia de arrefecimento do edifício, podendo ser a diferença entre precisar ou não de sistemas de arrefecimento.

Consoante a localização e orientação solar do edifício os sistemas de sombreamento vão ser distintos, para que os ganhos solares ou a restrição dos mesmos sejam tidos em consideração. Estes podem ser classificados de exteriores ou interiores, e dentro destes podem ser móveis ou fixos.

2.7.1 Sistemas de sombreamento exteriores e interiores

A título de exemplo de sombreamentos interiores tem-se as cortinas, persianas ou estores, que podem a nível estético não serem tão relevantes no edifício, mas por outro lado são menos eficazes pois os raios solares intercetam o vidro ficando no espaço interior.

Os dispositivos de sombreamento exteriores têm um papel predominante na fachada de um edifício, sendo por isso importante na sua conceção ter isso em consideração. São dispositivos que numa fase inicial são dispendiosos, mas a longo prazo podem reduzir bastante os custos energéticos de um edifício.

As vantagens dos dispositivos de sombreamento interiores e alguns exteriores também, é a sua fácil alteração, podendo no Inverno estar orientados para que haja mais ganhos solares e no Verão a evitar esses ganhos, acontecendo o mesmo com a luminosidade do edifício.

2.7.2 Sistemas de sombreamento fixos ou móveis

Os dispositivos fixos apresentam-se geralmente pelo exterior, podendo na maior parte dos casos fazer parte da estrutura do edifício, com palas horizontais, verticais ou os dois em simultâneo. O dispositivo deve ser escolhido consoante a localização do edifício e orientação, para que o sistema seja o mais eficiente possível em ambas as estações.

A desvantagem deste tipo de dispositivos está no facto de não se conseguir alterar o sombreamento ao longo do dia e até ao longo das estações, podendo de certa forma estar a limitar a entrada de luz em determinadas alturas do ano.

São desenhados e dimensionados para evitar que os raios solares entrem nos edifícios durante a estação de arrefecimento e retenham os mesmos na estação de aquecimento, exemplo disso são as palas horizontais e verticais. As palas horizontais devem ser orientadas a sul para uma maior eficácia do dispositivo, impedindo a incidência dos raios solares no edifício, quando o sol se encontra mais alto. Já as palas verticais são mais importantes quando o sol se encontra

mais baixo, pelo que são particularmente úteis para as fachadas este e oeste, não permitindo que os raios solares entrem.

Como mostra a Figura 2.12 os dispositivos móveis têm como vantagem possibilitarem serem modificados ao longo do dia e das estações do ano, conseguindo assim que a sombra seja maior no verão e menor no inverno consoante as necessidades dos ocupantes. São controlados manualmente ou automaticamente o que ajuda a que o edifício esteja sempre em conformidade com o que o ocupante deseja ao nível de conforto térmico e luminosidade.

Qualquer tipo de sombreamento vai ter impacto quando se trata de energia de arrefecimento e até de aquecimento, podendo ser a diferença entre precisar ou não de energia de arrefecimento em certos casos.



Figura 2. 12:Exemplo de dispositivos móveis pelo exterior

No regulamento relativo ao desempenho energético dos edifícios em vigor (REH) o sombreamento é tido em conta, nas obstruções exteriores ao edifício como os edifícios e vegetação adjacentes, por obstruções criadas por elementos do edifício como as palas verticais e/ou horizontais e ainda por obstruções exteriores ao edifício. Tudo isto vai influenciar a quantidade de radiação solar que vai entrar no edifício.

A Tabela 2.3 mostra de que forma o tipo de proteções nos edifícios são tidos em conta e os respetivos valores do fator solar dos vãos envidraçados.

Tabela 2. 3: Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar g_{Tvc}

| Tipo de Proteção | | g_{Tvc} | | | | | |
|----------------------|--|---------------|-------|--------|---------------|-------|--------|
| | | Vidro Simples | | | Vidros duplos | | |
| | | Clara | Média | Escura | Clara | Média | Escura |
| Proteções Exteriores | Portada de madeira | 0,04 | 0,07 | 0,09 | 0,03 | 0,05 | 0,06 |
| | Persiana de réguas de madeira | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,04 | 0,05 | 0,07 |
| | Persiana de réguas metálicas ou plásticas | 0,07 | 0,10 | 0,13 | 0,04 | 0,07 | 0,09 |
| | Estore veneziano de lâminas de madeira | - | 0,11 | - | - | 0,08 | - |
| | Estore veneziano de lâminas metálicas | - | 0,14 | - | - | 0,09 | - |
| | Lona opaca | 0,07 | 0,09 | 0,12 | 0,04 | 0,06 | 0,08 |
| | Lona pouco transparente | 0,14 | 0,17 | 0,19 | 0,10 | 0,12 | 0,14 |
| | Lona muito transparente | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,16 | 0,18 | 0,20 |
| Proteções interiores | Estores de lâminas | 0,45 | 0,56 | 0,65 | 0,47 | 0,59 | 0,69 |
| | Cortinas opacas | 0,33 | 0,44 | 0,54 | 0,37 | 0,46 | 0,55 |
| | Cortinas ligeiramente transparentes | 0,36 | 0,46 | 0,56 | 0,38 | 0,47 | 0,56 |
| | Cortinas transparentes | 0,38 | 0,48 | 0,58 | 0,39 | 0,48 | 0,58 |
| | Cortinas muito transparentes | 0,70 | - | - | 0,63 | - | - |
| | Portadas opacas | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,35 | 0,46 | 0,58 |
| | Persianas | 0,35 | 0,45 | 0,57 | 0,40 | 0,55 | 0,65 |
| | Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas | - | - | - | 0,28 | 0,34 | 0,40 |

Tudo é tido em conta para avaliar as necessidades do edifício como as palas verticais e horizontais, a área dos envidraçados, o tipo de vidro e a orientação do edifício. O ângulo da pala influencia bastante na energia necessária do edifício, mas é preciso ser sensato na colocação das palas para que a nível estético seja viável. Na Figura 2.13 está apresentada um exemplo da folha de calculo Itecons dos vãos envidraçados exteriores, de forma a perceber o que é tido em consideração.

| VÃO ENVIDRAÇADOS EXTERIORES | Orientação | Área | Vão Envidraçado à Face Exterior da Parede? | Tipo de vidro | Obstrução do Horizonte α_h | Pala horizontal α | Pala vertical à esquerda β_{esq} | Pala vertical à direita β_{dir} | U_{win} | U_{REF} |
|-----------------------------|------------|-------|--|---------------|-----------------------------------|--------------------------|--|---------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Descrição | | m^2 | | | ° | ° | ° | ° | $W/m^2 \cdot ^\circ C$ | $W/m^2 \cdot ^\circ C$ |
| Envidraçado 1 | Sudoeste | 2,64 | Não | Duplo | 45 | 34 | 57 | 57 | 1,68 | 2,40 |
| Envidraçado 2 | Nordeste | 2,64 | Não | Duplo | 45 | 34 | 57 | 57 | 1,68 | 2,40 |
| Envidraçado 3 | Sudoeste | 2,64 | Não | Duplo | 45 | 34 | 57 | 57 | 1,68 | 2,40 |
| Envidraçado 4 | Sudeste | 17,07 | Não | Duplo | 45 | 31 | 14 | 14 | 1,68 | 2,40 |
| | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | - |

Figura 2. 13: Exemplo da folha de cálculo IteCons dos vãos envidraçados exteriores

2.8 Inércia térmica

A inércia térmica é um fator importante para a estabilidade da temperatura num edifício, sendo determinante para as suas necessidades de energia de arrefecimento.

A inércia térmica é a função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção, sendo calculada pela equação 1:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \times r \times S_i}{A_p} \quad [1]$$

Onde:

M_{si} = Massa superficial útil do elemento i , $[\text{kg}/\text{m}^2]$

r - Fator de redução da massa superficial útil

S - Área da superfície interior do elemento i , $[\text{m}^2]$

A_p - Área interior útil de pavimento, $[\text{m}^2]$

A massa superficial útil do elemento pode ser obtida recorrendo a tabelas técnicas ou às publicações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (LNEC) sobre a caracterização térmica de elementos de construção. Este é um parâmetro importante pois quanto maior for a massa superficial do elemento utilizado, maior será a inércia térmica. Posto isto, é necessário ter atenção na escolha dos materiais de construção, assim como a variação de temperatura do meio onde o edifício está inserido, de forma a determinar a intensidade e direção do fluxo de calor entre o exterior e o interior, e a radiação solar incidente que influencia os ganhos internos do edifício.

É necessário, em relação a cada elemento construtivo, saber a sua constituição, se há isolamento térmico, se este é aplicado pelo interior ou exterior, se há caixa-de-ar e o revestimento escolhido para calcular desta forma a inércia térmica da solução térmica.

Ao nível regulamentar, a inércia térmica está dividida em três classes: inércia térmica forte, inércia térmica média e inércia térmica fraca como mostra a Tabela 2.4. A inércia térmica forte é aquela que tem melhor capacidade de armazenamento de energia e uma velocidade de dissipação moderada, quando comparada com as outras classes de inércia térmica. Para as mesmas condições, um edifício de inércia térmica forte apresenta necessidades energéticas 20% inferiores às de um edifício de inércia térmica fraca (Almeida, 2003).

Tabela 2. 4: Classes de inércia térmica interior, I_t

| Classe de inércia térmica | $I_t[\text{kg/m}^2]$ |
|---------------------------|-------------------------|
| Fraca | $I_t < 150$ |
| Média | $150 \leq I_t \leq 400$ |
| Forte | $I_t > 400$ |

A inércia térmica influencia o cálculo do:

- Valor de N_{ic} do edifício: quanto maior for a inércia térmica do edifício, maiores serão os ganhos úteis. Consequentemente, menor é o valor de N_{ic} do edifício ou fração autónoma;
- Valor de N_{vc} do edifício: quanto maior for a inércia térmica, menores serão as cargas térmicas (solares e internas) e menor é o valor de N_{vc} do edifício ou fração autónoma;
- Fatores solares máximos admissíveis dos vãos envidraçados (um dos requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios). Quanto maior for a inércia, maiores poderão ser os fatores solares máximos admissíveis.

Para o cálculo da inércia térmica é necessário ter em atenção o posicionamento do isolamento térmico, se este está no interior, exterior ou no meio da solução construtiva. O isolamento quando colocado pelo interior a M_{si} vai ser 0, o que vai fazer com que a inércia térmica seja reduzida. Isto acontece porque para efeitos de cálculo só são contabilizados os elementos que se situam do isolamento para o interior do edifício ou fração.

No REH são distinguidos os elementos construtivos para efeito de cálculo da inércia térmica interior em EL1 (elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente), EL2 (elementos em contacto com o solo) e EL3 (elementos de compartimentação interior da fração autónoma (parede ou pavimento)) (Figura 2.14).

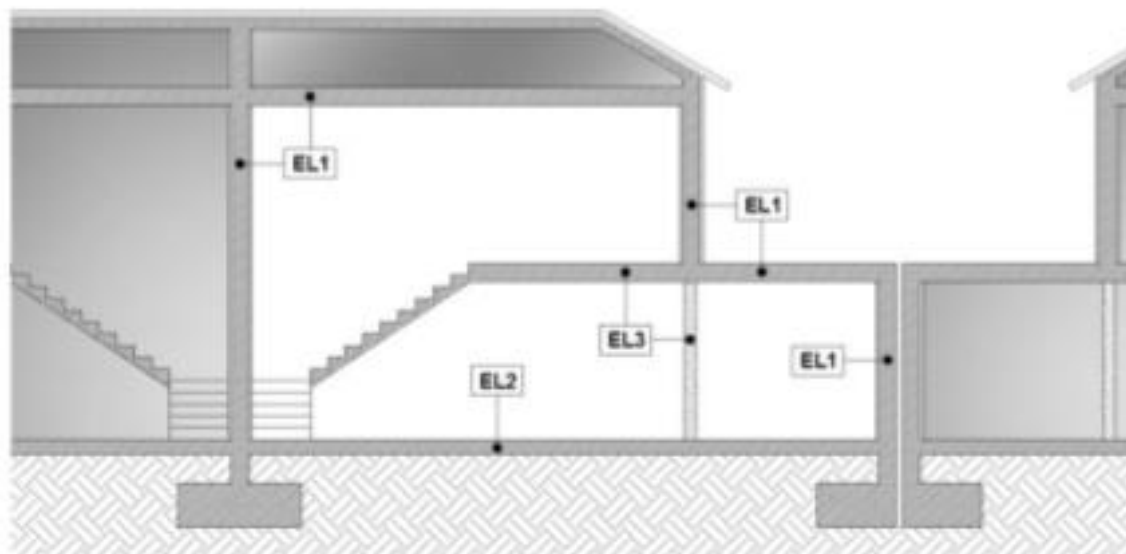


Figura 2. 14: Identificação dos elementos construtivos para o cálculo da inércia térmica interior (REH)

2.9 Isolamento térmico

O isolamento térmico num edifício é de extrema importância pois tem como função principal o aumento da resistência térmica da envolvente do edifício, de forma a reduzir as necessidades de aquecimento durante o inverno, as necessidades de arrefecimento no verão, bem como, eliminar o risco de patologias devidas à humidade e condensações.

O controlo energético é necessário para que não haja perdas/ganhos de calor no edifício significativos, criando um ambiente mais cómodo para os ocupantes, sem que seja necessário intensificar o consumo de energia a sistemas de climatização.

Durante o inverno, o isolamento é o elemento que tem mais relevância na constituição do edifício. Um local que não esteja devidamente isolado vai proporcionar uma sensação desagradável para o ocupante, e consequentemente um maior consumo de energia em aquecimento para que o local esteja em conformidade com as necessidades do ocupante. Mesmo assim as paredes do edifício permanecerão frias, o que leva a uma consequente perda excessiva de calor e à necessidade de temperaturas ambientes superiores para garantir o mesmo nível de conforto.

No verão, um local que não esteja devidamente isolado pode estar excessivamente aquecido, através dos ganhos de calor pelas paredes e coberturas, passando praticamente toda a radiação solar. Se por outro lado for demasiado isolado prejudica as perdas de calor por transmissão levando a um acréscimo das necessidades de arrefecimento.

O material de isolamento deverá assim apresentar um baixo índice de condutibilidade térmica (U) e baixa energia incorporada.

O isolamento térmico deve ter como propriedades:

- Baixo coeficiente de condutividade térmica;
- Não absorve humidade;
- Estrutura estável

O isolamento térmico pode ser colocado pelo interior ou pelo exterior dos elementos construtivos, sendo mais eficaz o isolamento térmico pelo exterior pois apresenta mais vantagens ao nível de corrigir as pontes térmicas, não reduz área interior, protege as paredes das variações de temperatura, assim como melhorar o desempenho térmico no verão. Consequentemente, o isolamento pelo exterior não limita a inércia térmica pois a massa superficial útil é contabilizada do isolamento para o interior do edifício.

No setor da construção é obrigatório desde 1991 a colocação do isolamento térmico nos edifícios, com a entrada em vigor do 1º Regulamento térmico (RCCTE). São considerados isolantes térmicos os materiais com $k \leq 0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ e $R > 0,3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ de forma a garantir a espessura suficiente do material para reduzir o fluxo de calor.

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Considerações iniciais

O cálculo das necessidades energéticas de um edifício faz-se recorrendo ao regulamento em vigor. Com a ajuda deste pode-se ter a perceção, de acordo com a solução construtiva adotada, de quais as necessidades de arrefecimento e aquecimento que do edifício. Este regulamento estabelece requisitos mínimos para que seja possível obter edifícios cada vez mais eficientes no âmbito do comportamento térmico dos mesmos.

3.2 Cálculo das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de acordo do REH (N_{vc}) são calculadas segundo a equação 2:

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) \times Q_{g,v}/A_p \quad [2]$$

η_v - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento

$Q_{g,v}$ - Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh]

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior [m²]

O fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento é calculado em função da transferência que ocorre por transmissão $Q_{tr,v}$ e devido à renovação do ar $Q_{ve,v}$, assim como dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$.

3.2.1 Transferência de calor por transmissão

A transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente calcula-se de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times L_v / 1000 \quad [3]$$

em que:

$H_{tr,v}$ - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento [W/°C];

$\theta_{v,ref}$ - Temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento, igual a 25°C;

$\theta_{v,ext}$ - Temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento [°C];

L_v - Duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

3.2.2 Transferência de calor por renovação do ar

A transferência de calor correspondente à renovação de ar interior durante a estação de arrefecimento, $Q_{ve,v}$, é calculada de acordo com a equação 4:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times L_v / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad [4]$$

onde:

$$H_{ve,v} = 0,34 \times R_{ph,v} \times A_p \times P_d \quad [\text{kWh}] \quad [5]$$

em que:

$R_{ph,v}$ - Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento [h⁻¹];

A_p - Área interior útil de pavimento, medida pelo interior [m²];

P_d - Pé direito médio da fração [m];

3.2.3 Ganhos térmicos

Os ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento do edifício são obtidos pela soma de duas parcelas, conforme a equação [6]:

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad [\text{kWh}] \quad [6]$$

Em que:

$Q_{int,v}$ – Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor

$Q_{sol,v}$ – Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada

Os ganhos térmicos internos devidos aos ocupantes, aos equipamentos e aos dispositivos de iluminação durante toda a estação de arrefecimento calculam-se de acordo com a equação [7]:

$$Q_{int,v} = q_{int} \times A_p \times L_v / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad [7]$$

Em que:

q_{int} – ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície igual a 4 W/m²;

A_p – Área interior útil do pavimento do edifício, medida pelo interior [m²]

L_v – Duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

Os ganhos solares na estação de arrefecimento resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada calculam-se de acordo com a seguinte equação, sendo que a determinação do fator de obstrução de superfícies opacas é opcional devendo, quando considerada, seguir uma abordagem comum à dos vãos envidraçados como indica a equação [8]:

$$Q_{sol,v} = \sum_j [G_{solj} \times \sum_n F_{s,vnj} \times A_{s,vnj}] \quad [\text{kWh}] \quad [8]$$

Em que:

G_{solj} – energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante toda a estação de arrefecimento [kWh/m²]

$A_{s,vnj}$ – Área efetiva coletora de radiação dólara da superfície do elemento n com a orientação j [m²]

j – Índice correspondente a cada uma das orientações por octante e à posição horizontal

n – Índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados com a orientação j

$F_{s,vnj}$ – Fator de obstrução da superfície do elemento n, com a orientação j

Com base no REH podem-se criar condições para que deixem de ser necessários os sistemas de arrefecimento nos edifícios, visto que, quando o fator de utilização de ganhos térmicos é igual ou superior ao fator de utilização de ganhos de referência o δ é 0.

“ δ – Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento (N_{vc}) em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado” (REH, 2013).

O fator de utilização de ganhos de um edifício vai depender da relação entre os ganhos térmicos brutos e a transferência de calor por transmissão e por renovação, assim como da classe de inércia térmica do mesmo.

$$\gamma = \frac{Q_{g,v}}{Q_{tr,v} + Q_{ve,v}} \quad [9]$$

Depois efetuada a equação anterior obtém-se um parâmetro γ que atendendo ao seu valor ser maior ou menor que 0 ou igual a 1, calcula-se recorrendo às seguintes equações o respetivo fator de utilização de ganhos. Nestas equações surge o parâmetro **a**, que é função da classe de inércia térmica do edifício, este pode tomar três valores diferentes correspondendo às três classes de inércia térmica.

Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad [10]$$

Se $\gamma = 1$

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad [11]$$

Se $\gamma < 0$

$$\eta = \frac{1}{\gamma} \quad [12]$$

O parâmetro **a** é igual a um dos seguintes valores:

- 1,8 – Correspondente a edifícios com inércia térmica fraca [W/°C]
- 2,6 – Correspondente a edifícios com inércia térmica média [W/°C]
- 4,2 – Correspondente a edifícios com inércia térmica forte [W/°C]

Como se pode observar na Figura 3.1, δ toma o valor de 0, quando isto acontece é porque o fator de utilização de ganhos é superior ao valor do fator de utilização de ganhos de referência, neste momento deixa-se de precisar de sistemas de arrefecimento porque a probabilidade de sobreaquecimento é de 1% (Marta Panão, 2014).

| G2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO | | | | | | | | |
|---|------------------|--|-------|----------|--------------------------------|--|--|---|
| SISTEMA PARA ARREFECIMENTO | Fonte de Energia | Necessidades de Energia Útil N_{uc} kWh/m².ano | f_v | δ | Eficiência Nominal η_v | Factor de Conversão F_{pov} kWh _{EP} /kWh | Necessidades de Energia Final $f_g \cdot \delta \cdot N_{uc} / \eta_v \cdot A_p$ kWh/ano | Necessidades de Energia Primária $f_g \cdot \delta \cdot N_{uc} \cdot F_{pov} / \eta_v$ kWh _{EP} /m².ano |
| | | 2,01 | - | 0 | - | - | - | - |
| | | | - | | - | - | - | - |
| | | | - | | - | - | - | - |
| | | | - | | - | - | - | - |
| | | | - | | - | - | - | - |
| | | | - | | - | - | - | - |
| | | | - | | - | - | - | - |
| Sistema por defeito | Electricidade | | 1,00 | | 2,8 | 2,5 | 0,00 | 0,00 |

Figura 3. 1: Exemplo da folha de cálculo da IteCons do δ quando toma o valor de 0

3.3 Descrição dos edifícios estudados

A fim de ser possível estudar a energia primária de arrefecimento necessária em cada zona climática consoante o tipo de solução construtiva utilizada e recorrendo ao REH, foram estudadas três edificações (um edifício novo, um edifício existente representativo do período entre 1961e 1990 e um edifício existente representativo do período de 1991 a 2012). Estas três edificações foram escolhidas de forma a perceber quais as soluções que melhor se enquadram em edifícios com soluções construtivas distintas e em anos de construção distintos. Este estudo recai sobre onze cidades diferentes, em que numa primeira fase o objetivo é perceber se o edifício necessita ou não de energia primária para arrefecimento e numa segunda fase proceder às várias alterações para que a mesma deixe de ser necessária.

Depois de uma análise das condições iniciais destes edifícios, é necessário perceber de que forma é possível melhorar o comportamento térmico dos mesmos e assim eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento. Posto isto o critério foi alterar as soluções construtivas iniciais para que fosse possível chegar a soluções construtivas que levassem à eliminação da energia de arrefecimento.

As alterações feitas foram de forma a perceber quais as que tinham mais impacto na energia de arrefecimento, e consequentemente na energia de aquecimento, para que o edifício

deixasse de precisar de sistemas de arrefecimento. Estas alterações são ao nível da envolvente do edifício, no ângulo das palas verticais e horizontais existentes, nas paredes interiores e nos envidraçados.

Numa fase inicial é estudada a necessidade de haver ou não sistemas de arrefecimento, de seguida são feitas alterações singulares consecutivas de forma a perceber qual o impacto das mesmas nas necessidades energéticas de arrefecimento. Contudo, se o edifício na fase inicial não precisar da utilização de sistemas ativos de arrefecimento, as alterações são feitas para que as necessidades energéticas de aquecimento sejam reduzidas ao máximo.

No edifício novo em que as soluções construtivas eram do ponto de vista térmico mais eficientes pois englobavam na sua constituição mais isolamento, foi necessário perceber se isso era vantajoso quando se trata das necessidades energéticas de arrefecimento, e se sim onde. Como era um edifício que apresentava sombreamento pelo exterior e pelo interior, as alterações focaram-se na alteração do ângulo do mesmo. Outro dos fatores importantes quando se trata de ganhos e perdas de energia são os envidraçados, nestes também foi necessário perceber qual o seu impacto nas necessidades energéticas de arrefecimento.

No que toca aos edifícios já existentes em que as soluções construtivas quando comparadas com o edifício novo são claramente mais vulneráveis, as alterações são feitas de forma diferente. Estes não apresentam nenhum tipo de sombreamento, logo as alterações vão no sentido da colocação dos mesmos pelo exterior e interior. Também os envidraçados sofrem alterações pois numa fase inicial estes são simples e sem proteções.

Caso não seja possível eliminar essas necessidades com intervenções em elementos individuais, são realizadas combinações de intervenções em vários elementos. De referir também que, nos casos em que não é possível eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento mesmo quando se alteram todos os elementos com impacto no fator de utilização de ganhos, foi testada uma alteração extrema de forma a perceber o quanto difícil é eliminar a mesma nessas zonas climáticas e com o respetivo edifício estudado. Esta alteração extrema incide numa alteração na taxa de renovação do ar, R_{ph} na estação de arrefecimento. Assim passa normalmente de um valor de $0,6h^{-1}$, para valores muito superiores. Na zona onde mesmo assim não é possível eliminar os sistemas de arrefecimento é feita uma conjugação de alterações, que consiste em alterar a taxa de renovação do ar para um valor elevado e retirar os envidraçados ao edifício em análise. É salientar que na prática esta alteração não será viável nem exequível, mas o que importa aqui é perceber o quão difícil nestas zonas é eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento.

3.3.1 Caracterização do edifício I

O edifício I é um edifício unifamiliar isolado, apresenta uma vasta área de envidraçados, onde uma das paredes dispõem de três envidraçados que representam quase toda a parede. Este primeiro edifício analisado é um edifício que representa uma nova habitação, projetada de acordo com os requisitos mínimos aplicáveis e com características construtivas e funcionais comuns. Como o edifício apresenta uma vasta área de envidraçados dá uma perspetiva diferente dos restantes edifícios aqui estudados e uma melhor análise da contribuição destes nos ganhos e nas perdas solares para a energia de arrefecimento.

O edifício escolhido para estudo foi um edifício com uma área útil de 90m², com uma tipologia tipo T2, com uma inércia forte e foi analisado para todas as zonas climáticas. O sistema de aquecimento escolhido foi um termoacumulador elétrico, para arrefecimento a eletricidade unidades split, multi-split e VRF c/permuta ar-ar, para produção de AQS o esquentador a combustível líquido ou gasoso e para a energia renovável para consumo o solar térmico. Estes equipamentos acima referidos foram selecionados para que o edifício numa primeira fase já obtivesse uma boa classificação energética. Também as soluções construtivas dos diferentes elementos estão referenciadas na Tabela 3.1 e 3.2, assim como o coeficiente de transmissão térmica e pontes térmicas lineares.

Tabela 3. 1: Soluções construtivas dos diversos elementos e respetivo coeficiente de transmissão térmica, do edifício I

| Elementos | Solução construtiva | U (W/ (m ² .°C)) |
|-----------------|--|-----------------------------|
| Parede exterior | Rastra Therm 33cm | 0,19 |
| Cobertura | Cobertura ajardinada, constituída por vegetação, substrato vegetal, placas de espuma elástica de poliuretano de alvéolos fissurados, manta geotêxtil, isolamento térmico/acústico (0,08m), sistema de impermeabilização, manta geotêxtil, camada de forma, laje fungiforme maciça e revestimento interior (estruque projetado) | 0,27 |
| Pavimento | Constituído por revestimento superior, lajeta flutuante, camada resiliente, camada de enchimento, isolamento térmico/acústico (0,06m), laje e revestimento inferior | 0,39 |
| Parede interior | Reboco exterior, tijolo 15, caixa-de-ar, EPS (0,06m), tijolo 11, argamassa de assentamento e azulejo cerâmico. | 0,38 |
| Envidraçados | Constituído por vidro exterior, caixa-de-ar, vidro interior, caixilharia de alumínio com corte térmico e isolante térmico. | 1,68 |

Tabela 3. 2: Pontes térmicas lineares do edifício I

| Pontes térmicas lineares | Comp. B (m) | Ψ Calculado (W/m.°C) |
|----------------------------------|-------------|---------------------------|
| Fachada com pavimentos térreos | 50,74 | 0,70 |
| Fachada com cobertura | 50,74 | 0,70 |
| Zona de caixa de estores | 11,44 | 0,30 |
| Fachada com caixilharia | 55,29 | 0,10 |
| Duas paredes verticais em ângulo | 37,80 | 0,40 |

Quanto à escolha do vão envidraçado foi com caixilharia de alumínio com corte térmico e isolante incorporado, batente com vidro duplo reflete incolor + incolor (4+6mm), com uma espessura de câmara de 16mm de ar. Como proteção exterior foi adotado persianas de réguas plásticas, preenchidas com espuma, de cor clara. Estes elementos escolhidos para os envidraçados e para as proteções vão ao encontro do referido anteriormente, o objetivo é que o edifício já se encontre com um fator solar e dispositivos de proteção eficazes do ponto de vista térmico, como se observa na Tabela 3.3.

Tabela 3. 3: Características dos envidraçados do edifício I

| | |
|--|------|
| Fração envidraçada (F_g) | 0,70 |
| Fator solar do vidro ($g_{L,vi}$) | 0,75 |
| FS Global Proteção Permanentes e Moveis (g_{LT}) | 0,04 |
| FS Global Permanentes (g_{LTp}) | 0,75 |

Quanto à orientação do edifício é a que se encontra na Figura 3.2:

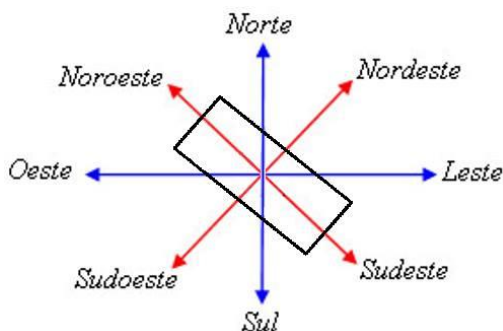


Figura 3. 2: Orientação do edifício I

3.3.2 Caracterização do edifício II

Para o segundo edifício em análise foi cedido o levantamento dimensional e de sistemas de um edifício que não foi construído, sendo assim um edifício virtual que representa as soluções construtivas mais utilizadas naquela época de acordo com os resultados retirados dos certificados energéticos. Este edifício foi escolhido para que se perceba se é possível ou não, eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento alterando algumas soluções construtivas em edifícios já existentes. Corresponde a um edifício multifamiliar e apresenta quatro envidraçados, um em cada parede exterior com uma área de 7,5m aproximadamente.

O edifício estudado é representativo do período entre 1991 a 2012 com uma área de 155m², uma tipologia T3 e com uma inércia térmica média. Este edifício contém sistemas de arrefecimento e de aquecimento por defeito que são eles o ar condicionado e esquentador, respetivamente e não tem instalados coletores solares térmicos. Na Tabela 3.4 são indicados os diferentes elementos construtivos e a respetiva solução adotada numa fase inicial, assim como o respetivo coeficiente de transmissão térmica. Recorrendo à Tabela 3.5 obtém-se a informação sobre as pontes térmicas lineares do edifício II.

Tabela 3. 4: Soluções construtivas dos diversos elementos e respetivo coeficiente de transmissão térmica, do edifício II

| Elementos | Solução construtiva | U (W/ (m ² .°C)) |
|-----------------|---|-----------------------------|
| Parede exterior | Parede dupla de alvenaria de tijolo furado 11+11cm, XPS com 3cm, rebocada em ambas as faces com espessura de 30cm | 0,92 |
| Cobertura | Cobertura inclinada, revestimento com telha cerâmica, com 3cm de XPS, laje aligeirada de blocos cerâmico de 15cm e revestimento do teto em estuque de 2cm | 0,94 |
| Pavimento | Revestimento em ladrilho, 4cm de betonilha, XPS com 3cm, laje aligeirada de 15cm e revestimento de teto com 2cm em reboco | 0,71 |
| Parede interior | Parede simples de alvenaria de tijolo furado de 22cm, rebocada em ambas as faces e com uma espessura de 26cm | 1,62 |
| Envidraçados | Vidro duplo corrente | 3,10 |

Tabela 3. 5: Pontes térmicas lineares do edifício II

| Pontes térmicas lineares | Comp. B (m) | Ψ Calculado (W/m.°C) |
|--|-------------|---------------------------|
| Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido | 35,20 | 0,35 |
| Fachada com pavimento de nível intermedio | 70,40 | 0,50 |
| Fachada com cobertura | 35,20 | 1 |
| Duas paredes verticais em ângulo saliente | 20,80 | 0,50 |
| Fachada com caixilharia | 103,33 | 0,25 |
| Zona de caixa de estores | 25,83 | 0,30 |

Os envidraçados existentes são de caixilharia metálica sem corte térmico de correr, o vidro é duplo corrente e quanto às proteções escolhidas exteriores foram persianas plásticas claras (Tabela 3.6). O edifício não contém palas verticais, nem palas horizontais. Será interessante perceber como se comporta um edifício que termicamente está menos isolado.

Tabela 3. 6: Características dos envidraçados do edifício II

| | |
|---|------|
| Fração envidraçada (F_g) | 0,70 |
| Fator solar do vidro ($g_{\perp,vi}$) | 0,75 |
| FS Global Proteção Permanentes e Moveis ($g_{\perp T}$) | 0,04 |
| FS Global Permanentes ($g_{\perp Tp}$) | 0,65 |

Quanto à orientação do edifício, este é orientado como mostra a Figura 3.3:

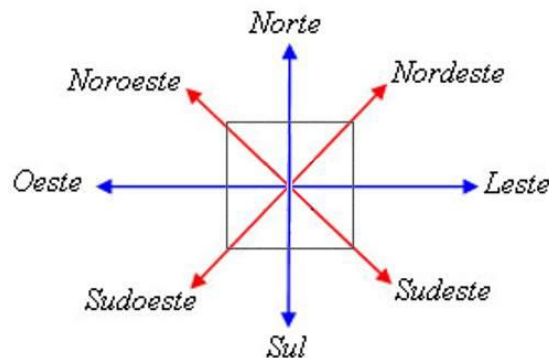


Figura 3. 3: Orientação do edifício II

3.3.3 Características do edifício III

O terceiro edifício em análise também não se encontra construído, sendo um edifício virtual que corresponde às características de um edifício dessa época. A particularidade deste edifício e a razão para o qual foi escolhido, foi por já ter uma construção que representa os anos de 1961-1990 e por ter soluções construtivas mais simples do ponto de vista do comportamento

térmico. Corresponde a um edifício multifamiliar e com envidraçados nas quatro paredes exteriores com uma área aproximada de 3,5m.

O edifício escolhido é de 1961-1990 com uma área útil de 100m², tipologia T3 e com uma inércia térmica média. O edifício tem instalados sistema de aquecimento e de arrefecimento por defeito, são eles o esquentador e ar condicionado e não possui coletores solares térmicos. A solução inicial está representada na tabela 3.7 com o valor do U (W/ (m².°C)) de cada Elemento e as pontes térmicas lineares na Tabela 3.8.

Tabela 3. 7: Soluções construtivas dos diversos elementos e respetivo coeficiente de transmissão térmica, do edifício III

| Elementos | Solução construtiva | U (W/ (m ² .°C)) |
|-----------------|---|-----------------------------|
| Parede exterior | Parede simples de alvenaria de tijolo furado de 22cm, rebocada em ambas as faces e com uma espessura de 26cm | 1,76 |
| Cobertura | Cobertura inclinada, revestimento com telha cerâmica, laje aligeirada de blocos cerâmicos com espessura de 15cm e revestimento do teto de 20cm em estuque | 2,80 |
| Pavimento | Revestimento em ladrilho, 4cm de betonilha, laje aligeirada de 15cm e revestimento de teto com 2cm de reboco | 1,65 |
| Parede interior | Parede simples de alvenaria de tijolo furado de 22cm, rebocada em ambas as faces e com uma espessura de 26cm | 1,62 |
| Envidraçados | Vidro simples corrente | 4,10 |

Tabela 3. 8: Pontes térmicas lineares do edifício III

| Pontes térmicas lineares | Comp. B (m) | Ψ Calculado (W/m.°C) |
|---|-------------|----------------------|
| Fachada com pavimento sobre o exterior ou ENU | 40 | 0,7 |
| Fachada com cobertura | 40 | 0,7 |
| Fachada com caixilharia | 50 | 0,25 |
| Duas paredes verticais em ângulo saliente | 10,8 | 0,5 |

Os envidraçados são de caixilharia metálica sem corte térmico, vidro simples corrente, portadas opacas e interiores claras. O edifício não tem dispositivos de sombreamento fixos, nem palas verticais, nem horizontais. Pode-se com isto perceber que é um edifício que na sua constituição é termicamente mais fraco numa primeira análise (Tabela 3.9).

Tabela 3. 9: Características dos envidraçados do edifício III

| | |
|--|------|
| Fração envidraçada (F_g) | 0,7 |
| Fator solar do vidro $g_{\perp,vi}$ | 0,85 |
| FS Global Proteção Permanentes e Moveis (g_{LT}) | 0,3 |
| FS Global Permanentes (g_{LTp}) | 0,85 |

Quanto à orientação do edifício este é orientado como mostra a Figura 3.4:

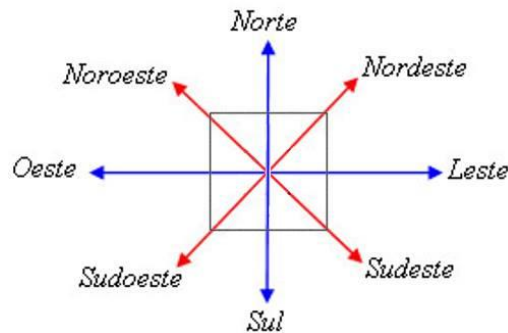


Figura 3. 4: Orientação do edifício III

Todos estes dados do edifício foram introduzidos na folha de cálculo da IteCons, com o objetivo de perceber quais as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento do mesmo, para que sejam depois feitas as alterações mais adequadas em função da zona climática.

3.4 Estratégias construtivas para variar o fator de utilização de ganhos

Com o intuito de perceber quais as soluções construtivas que influenciam o fator de utilização de ganhos e por conseguinte a energia primária de arrefecimento, à solução inicial dos edifícios estudados foram feitas alterações aos elementos construtivos. Estas alterações, numa primeira fase, são individualizadas e se mesmo assim o edifício estudado ainda necessitar da utilização de sistemas ativos de arrefecimento, são feitas um conjunto de alterações aos vários elementos construtivos.

Com isto pretende-se entender qual destas nos conduzem a uma estratégia ao nível de soluções construtivas mais vantajosa para conseguir eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento. Visto serem três edifícios, mas dois deles serem já existentes, as alterações dos

elementos construtivos das paredes exteriores, cobertura e pavimentos será diferente para esses.

1. Alteração da solução construtiva das paredes exteriores no edifício I

Identificação da alteração: A solução construtiva da parede exterior passou a ser constituída por bloco térmico (leca), argamassa de colagem, placa isolante em EPS com 0,060m, argamassa de revestimento, rede de fibra de vidro, primário de regularização e acabamento colorido. O coeficiente de transmissão térmica passa de $U=0,19 \text{ (W/ (m}^2\text{.}^\circ\text{C))}$ para um $U=0,384 \text{ (W/ (m}^2\text{.}^\circ\text{C))}$.

2. Alteração da solução construtiva das paredes exteriores para uma solução corrente do edifício I

Identificação da alteração: A solução construtiva da parede exterior passa para uma parede com argamassa tradicional, tijolo cerâmico furado, XPS com 0,040m de espessura, tijolo cerâmico furado e gesso cartonado. O objetivo desta solução é obter um coeficiente de transmissão térmica maior, passa para $U=0,474 \text{ (W/ (m}^2\text{.}^\circ\text{C))}$.

3. Alteração da espessura do isolamento nas paredes exteriores para o edifício II

Identificação da alteração: A solução construtiva só altera a espessura do isolamento em relação à solução inicial de 0,03m para 0,06m na caixa-de-ar. O objetivo com esta alteração é obter um coeficiente de transmissão térmica menor, ficando assim com $U=0,414 \text{ (W/ (m}^2\text{.}^\circ\text{C))}$.

4. Alteração da solução construtiva das paredes exteriores para o edifício III

Identificação da alteração: A solução construtiva da parede exterior passa para uma parede dupla com tijolo furado 22+11 cm, com XPS de 0,12m na caixa-de-ar e reboco em ambas as faces. O objetivo desta solução é reduzir o coeficiente de transmissão térmica de $1,76 \text{ (W/ (m}^2\text{.}^\circ\text{C))}$ para $0,682 \text{ (W/ (m}^2\text{.}^\circ\text{C))}$.

5. Alteração da solução construtiva da cobertura para o edifício I

Identificação da alteração: A solução construtiva da cobertura é constituída por godo, geotêxtil, membrana impermeabilizante dupla, XPS com 0,16m, argamassa de regularização com vermiculite, laje aligeirada blocos cerâmicos de 2 fiadas e estuque de gesso. A Cobertura fica com um coeficiente de transmissão térmica de $0,20 \text{ (W/ (m}^2\text{.}^\circ\text{C))}$.

6. Alteração da solução construtiva da cobertura para o edifício I

Identificação da alteração: A cobertura passa a ser constituída por godo, geotêxtil, membrana impermeabilizante dupla, XPS com 0,20m de espessura, argamassa de regularização com vermiculite, laje aligeirada de blocos cerâmicos de 2 fiadas, caixa-de-ar e gesso cartonado.

Com esta pequena alteração da espessura o coeficiente de transmissão térmica passa para 0,16 (W/ (m².°C)).

7. Alteração da espessura do isolamento na cobertura para o edifício II

Identificação da alteração: A solução construtiva em relação à solução inicial altera a espessura do isolamento de 0,03m para 0,12m. O objetivo desta alteração é obter um coeficiente de transmissão térmica menor, ficando assim com um $U=0,27$ (W/ (m².°C)).

8. Alteração da solução construtiva da cobertura para o edifício III

Identificação da alteração: A solução construtiva em relação a solução inicial passa a ter XPS de 0,12m. Com isto o coeficiente de transmissão térmica da solução fica em 0,27 (W/ (m².°C)).

9. Alteração dos envidraçados

Identificação da alteração: A solução passa a um vidro duplo refletante incolor 4 a 8mm + 4 a 8mm, estore veneziano de lâminas metálicas e portadas opacas.

10. Alteração dos envidraçados

Identificação da alteração: A solução passa a um vidro duplo incolor 4 a 8mm + incolor 5mm, portada de madeira (cor média), portadas opacas (cor clara).

11. Alteração da solução construtiva das paredes interiores para o edifício I

Identificação da alteração: As paredes interiores passam a ser constituídas por gesso cartonado, XPS com 0,02m de espessura, tijolo cerâmico furado e argamassa de regularização. Assim o U das paredes interiores aumenta para $U=0,85$ (W/ (m².°C)).

12. Alteração da solução construtiva do pavimento para o edifício I

Identificação da alteração: A solução construtiva adotada para o pavimento foi de forma a diminuir a resistência do pavimento e aumentar assim o coeficiente de transmissão térmica. O pavimento é constituído por mosaico (grés cerâmico), argamassa, enchimento com betão de inertes de poliestireno expandido, XPS com 0,040m de espessura, laje aligeirada com blocos cerâmicos, caixa de desvão sanitário e betão de limpeza.

13. Alteração da espessura do isolamento no pavimento para o edifício I

Identificação da alteração: A solução construtiva do pavimento é a mesma que a anterior mas o isolamento passa de 0,040m de espessura para 0,020m. O coeficiente de transmissão térmica da solução construtiva anterior era $U=0,567$ (W/ (m².°C)) e com esta alteração passa para $U=0,581$ (W/ (m².°C)).

14. Alteração da espessura do isolamento no pavimento para o edifício II

Identificação da alteração: A solução construtiva passa de 0,03m de isolamento para 0,08m. O coeficiente de transmissão térmica da solução passa assim para $U=0,356 \text{ (W/ (m}^2\text{.}^\circ\text{C))}$, ficando com um U menor.

15. Alteração da solução construtiva do pavimento para o edifício III

Identificação da alteração: A solução construtiva passa a conter isolamento de 0,08m. O coeficiente de transmissão térmica da solução passa assim para $U=0,356 \text{ (W/ (m}^2\text{.}^\circ\text{C))}$, ficando com um U menor.

16. Alteração da pala vertical para o edifício I

Identificação da alteração: No caso do edifício novo a alteração é feita de forma a aumentar o ângulo da pala vertical de 57° para 67° . Já no caso dos outros dois edifícios que não possuem palas numa fase inicial, a alteração consiste na colocação das mesmas com um ângulo de 45° .

17. Alteração da pala horizontal para o edifício I

Identificação da alteração: A alteração da pala horizontal para o edifício novo é de um ângulo 34° para um ângulo de 36° . Para os restantes edifícios, a alteração abrange na colocação de pala horizontal com um ângulo de 40° .

18. Alteração do ângulo da pala horizontal para o edifício I

Identificação da alteração: Uma vez realizada a alteração anterior e não obtendo os resultados pretendidos, o ângulo da pala horizontal é aumentado para 40° , no edifício novo.

19. Colocação de palas verticais para o edifício I e edifício II

Identificação da alteração: O edifício passa a ter palas verticais com um ângulo de 45° .

20. Colocação de palas horizontais no edifício I e edifício II

Identificação da alteração: O edifício passa a ter palas horizontais com um ângulo de 40° .

21. Alteração da orientação do edifício

Identificação da alteração: Esta alteração consiste em alterar a orientação do edifício em relação à orientação inicial, de forma a perceber se a energia de arrefecimento aumenta ou diminui.

3.5 Zonas Climáticas

É de salientar que cada zona climática, ou seja, cada cidade estudada tem necessidades diferentes e reage de forma diferente às alterações construtivas realizadas. Sendo em algumas cidades impossível eliminar por completo a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento, e sendo assim, as alterações foram feitas para analisar qual ou quais as que

mais vantagens traziam na redução das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento para o edifício. A Tabela 3.10 apresenta as cidades escolhidas para cada zona climática.

Tabela 3. 10: Zonas climáticas estudadas e respetiva cidade

| Zona | Cidade |
|------|-----------------|
| I1V1 | Portimão |
| I1V2 | Coimbra |
| I1V3 | Beja |
| I2V1 | Póvoa de Varzim |
| I2V2 | Braga |
| I2V3 | Tomar |
| I3V1 | Guarda |
| I3V2 | Vila Real |
| I3V3 | Mirandela |

Foram ainda estudadas as cidades do Porto e Lisboa por serem aquelas que mais edifícios apresentam.

Capítulo 4

Casos de estudo

4.1 Considerações iniciais

Com recurso à metodologia de cálculo das necessidades de energia preconizada pelo REH e tendo em conta as condições iniciais dos edifícios estudados, é necessário perceber se com as soluções construtivas adotadas os edifícios necessitam ou não de sistemas ativos de arrefecimento. Para isso foi necessário introduzir na folha de cálculo todos os dados relativos à envolvente exterior e interior e os pormenores construtivos do edifício e respetivas soluções construtivas.

Assim, consegue-se obter o valor do fator de utilização de ganhos e a energia primária de arrefecimento e aquecimento que o edifício necessita, bem como os ganhos e as perdas que o mesmo tem.

Relativamente aos ganhos térmicos de um edifício, englobam-se os ganhos solares brutos pela envolvente opaca, os ganhos solares brutos pelos envidraçados e os ganhos internos. Quanto à transferência de calor por transmissão, tem-se através de elementos de envolvente em contacto com o exterior, em contacto com espaços não úteis e em contacto com o solo.

Cada zona climática é caracterizada por um clima diferente e por isso é fundamental perceber esse clima e a influência desse no edifício.

4.2 Condições iniciais

Na Tabela 4.1 pode-se observar consoante o tipo de edifício estudado e a zona climática em que o mesmo se encontra a variação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento e os ganhos solares brutos pela envolvente opaca e envidraçados. Com isto pretende-se perceber quais as necessidades do edifício com as soluções construtivas iniciais adotadas e depois compara-las com as obtidas com as devidas alterações realizadas.

Tabela 4. 1: Soluções iniciais de cada zona climática

| | | Energia primária de aquecimento kWhEP/m ² .ano | Energia primária de arrefecimento kWhEP/m ² .ano | Ganhos solares brutos pela envolvente opaca kwh/ano | Ganhos solares brutos pelos envidraçados kwh/ano |
|-----------------|--------------|--|--|--|---|
| Portimão | Edifício I | 56,82 | 17,85 | 823,62 | 1446,63 |
| | Edifício II | 99,67 | 21,50 | 2063,06 | 2703,88 |
| | Edifício III | 371,94 | 32,19 | 4434,50 | 1999,15 |
| Coimbra | Edifício I | 107,75 | 5,82 | 787,94 | 1422,33 |
| | Edifício II | 139,53 | 9,96 | 1996,62 | 2669,21 |
| | Edifício III | 500,97 | 12,13 | 4270,62 | 1969,24 |
| Beja | Edifício I | 84,51 | 30,32 | 814,10 | 1431,07 |
| | Edifício II | 111,04 | 34,91 | 2044,35 | 2690,01 |
| | Edifício III | 406,55 | 60,96 | 4390,55 | 1987,67 |
| Póvoa de Varzim | Edifício I | 105,91 | 5,58 | 765,34 | 1402,39 |
| | Edifício II | 136,02 | 9,74 | 1958,24 | 2646,41 |
| | Edifício III | 482,77 | 11,66 | 4172,66 | 1954,57 |
| Braga | Edifício I | 140,39 | 0,00 | 760,56 | 1398,02 |
| | Edifício II | 174,51 | 9,04 | 1946,09 | 2632,55 |
| | Edifício III | 590,34 | 10,65 | 4146,71 | 1943,09 |
| Tomar | Edifício I | 117,03 | 10,93 | 796,23 | 1422,33 |
| | Edifício II | 148,54 | 14,90 | 2009,73 | 2660,28 |
| | Edifício III | 518,67 | 19,99 | 4306,62 | 1966,85 |
| Guarda | Edifício I | 197,62 | 8,88 | 783,74 | 1429,14 |
| | Edifício II | 239,71 | 12,92 | 1990,06 | 2660,28 |
| | Edifício III | 778,60 | 16,60 | 4252,62 | 1966,05 |
| Vila Real | Edifício I | 180,71 | 14,14 | 769,49 | 1402,39 |
| | Edifício II | 219,35 | 17,96 | 1962 | 2639,48 |
| | Edifício III | 713,39 | 24,98 | 4186,69 | 1949,23 |
| Mirandela | Edifício I | 225,79 | 7,52 | 755,83 | 1386,84 |
| | Edifício II | 267,78 | 11,68 | 1933,94 | 2618,68 |
| | Edifício III | 833,32 | 14,46 | 4120,75 | 1931,60 |
| Porto | Edifício I | 105,91 | 5,58 | 765,34 | 1402,39 |
| | Edifício II | 136,02 | 9,74 | 1958,24 | 2646,41 |
| | Edifício III | 182,77 | 11,66 | 4171,66 | 1954,57 |
| Lisboa | Edifício I | 81,62 | 8,99 | 801,02 | 1426,70 |
| | Edifício II | 108,62 | 13,07 | 2016,29 | 2669,21 |
| | Edifício III | 404,09 | 17,01 | 4324,62 | 1970,05 |

Como se pode observar da tabela anterior existe uma zona climática em que o edifício I já não possui necessidades energéticas de arrefecimento, isso acontece na cidade de Braga. Apesar

do edifício I nessa cidade não precisar de energia de arrefecimento, em contrapartida o edifício III tem maiores necessidades de aquecimento e arrefecimento. Pode-se concluir que o edifício I de uma maneira geral é aquele que apresenta menores necessidades energéticas de arrefecimento e aquecimento e o edifício III o contrário, tem maiores necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. O edifício I também é aquele que apresenta menores ganhos solares brutos pela envolvente opaca e envidraçados.

A cidade de Beja é a que apresenta mais necessidades energéticas de arrefecimento e por isso será a cidade onde se terá mais dificuldades em eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento.

4.2.1 Caracterização climática da cidade de Portimão

As cidades na zona climática I1-V1 são caracterizadas por climas mais amenos que nas restantes zonas territoriais, o que leva a uma menor exigência das condições regulamentares. A temperatura média na cidade de Portimão no Verão é 23,4°C e no Inverno de 12°C. No inverno importa promover os ganhos solares no quadrante sul, enquanto que no verão é necessário dotar os envidraçados de sombreamento eficazes de forma a restringir os ganhos solares.

4.2.2 Caracterização climática da cidade de Coimbra

As zonas climáticas I1-V2 são zonas que merecem especial cuidado mais no verão que propriamente no inverno. É caracterizado por ter um tempo mais frio que a cidade de Lisboa e mais quente que a cidade do Porto. No inverno a temperatura média varia entre os 5°C e os 14°C, já no verão raramente sobe além dos 30°C. No verão é importante promover o sombreamento eficaz e a ventilação.

4.2.3 Caracterização climática da cidade de Beja

A cidade de Beja é caracterizada por um Inverno suave e um verão mais quente e longo, assim é necessário tomar especial sentido ao verão pois o clima é seco. Quanto às temperaturas médias nos meses de Inverno variam entre 11°C e 15°C, enquanto que no Verão variam entre 18°C e 31°C.

4.2.4 Caracterização climática da cidade da Póvoa de Varzim

A cidade da Póvoa de Varzim é indicada como uma cidade que possui um microclima próprio, sendo pouco afetada com as geadas devido ao vento que incide no Inverno. O verão é ameno e o inverno suave, sendo um clima temperado marítimo. Possui uma temperatura média anual de 13,4°C e 15°C. No inverno é necessário dotar os edifícios de uma capacidade de captar os ganhos solares a sul e no verão ter um especial cuidado em proteger os envidraçados de modo a restringir os ganhos solares.

4.2.5 Caracterização climática da cidade de Braga

A cidade de Braga é caracterizada por um clima temperado, onde as 4 estações são distintas. O Inverno é ameno e chuvioso enquanto o Verão é quente e soalheiro. As temperaturas médias mínimas e máximas registadas são de 4,3°C no mês de janeiro e de 27,1°C em agosto. No inverno é fundamental promover os ganhos solares no quadrante sul, já no verão é preciso restringir os mesmos nos envidraçados.

4.2.6 Caracterização climática da cidade de Tomar

Nesta zona climática o Verão merece um cuidado especial pois o clima é quente e com pouca humidade ao longo do ano. A temperatura média é de 16,4°C, sendo as máximas de 22,4°C e mínimas de 9,9°C.

4.2.7 Caracterização climática da cidade da Guarda

Estas zonas climáticas são caracterizadas por um clima temperado, exigindo mais atenção no Inverno que no Verão. O Verão é ameno encontrando-se as temperaturas na zona de conforto, já o Inverno é frio podendo atingir as temperaturas negativas sendo por isso necessário captar sempre que possível os ganhos solares e o edifício ter uma inércia forte. O mês mais quente é julho com temperatura média de 19,7°C, e o mês mais frio é janeiro com temperatura média de 4°C.

4.2.8 Caracterização climática da cidade de Vila Real

Caracteriza-se por ser uma zona de clima temperado, com temperaturas muito baixas no Inverno e no Verão um clima seco e quente. O Inverno é mais exigente que o Verão, necessitando assim de medidas que promovam os ganhos solares. Contudo, sendo o Verão seco e quente é imprescindível restringir os ganhos solares para que o edifício não fique

sobreaquecido. Se dotarmos o edifício com uma inércia térmica forte estamos a prepara-lo tanto para o Inverno como o Verão.

4.2.9 Caracterização climática da cidade de Mirandela

Estas zonas são caracterizadas por um clima quente, climas mais agressivos tanto no Inverno como no Verão. Passa a ser imprescindível um edifício dotado de uma inércia térmica forte e deverá conseguir ter capacidade de captar os ganhos solares no Inverno e restringir os mesmos no Verão.

4.2.10 Caracterização climática da cidade do Porto

Depois de estudadas todas as 9 zonas climáticas e saber qual as necessidades de cada zona, considerou-se importante analisar também a cidade do Porto e de Lisboa, visto serem cidades que possuem bastantes edifícios e população.

A cidade do Porto encontra-se na zona climática I2-V1 e caracteriza-se por um clima ameno. Devido a influência marítima o Verão é menos exigente que o Inverno, necessitando este de maiores cuidados de forma a captar os ganhos solares. No inverno as temperaturas variam entre os 5°C e os 14°C, já no verão variam entre os 15°C e os 25°C.

4.2.11 Caracterização climática da cidade de Lisboa

A cidade de Lisboa encontra-se na zona climática I1-V2 sendo necessário uma especial atenção no Verão, pois estes são quentes e longos. O inverno é caracterizado por bastante chuva e vento e a temperatura média pode variar entre os 8°C e os 15°C. No Verão a temperatura média é de 26°C, sendo por isso necessário restringir os ganhos solares do edifício.

4.3 Considerações adicionais

A partir destas condições iniciais e das necessidades de cada edifício em cada cidade é fundamental perceber qual ou quais das alterações já mencionadas que influenciam o fator de utilização de ganhos do edifício e assim eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. Visto que num dos edifícios esses sistemas já não são necessários, é preciso perceber se é possível diminuir a energia primária de aquecimento sem comprometer

o comportamento na estação de arrefecimento, e assim adotar as melhores soluções construtivas para a zona e para o edifício estudado.

Na Tabela 4.2 pode-se perceber os edifícios e cidades que necessitam de energia de arrefecimento com as condições iniciais e as diferenças entre os mesmos.

Tabela 4. 2: Fator de utilização de ganhos dos edifícios e zonas climáticas estudadas

| Fator de utilização de ganhos dos edifícios e zonas climáticas estudadas | | | | |
|--|----------------------|---------------------------------------|---|--|
| | | Necessita de energia de arrefecimento | Fator de utilização de ganhos de referência (η_{vref}) | Fator de utilização de ganhos (η_v) |
| Portimão | Edifício Novo | Sim | 0,66 | 0,46 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,43 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,53 |
| Coimbra | Edifício Novo | Sim | 0,83 | 0,82 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,73 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,82 |
| Beja | Edifício Novo | Sim | 0,45 | 0,07 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,07 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,10 |
| Póvoa de Varzim | Edifício Novo | Sim | 0,83 | 0,83 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,74 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,82 |
| Braga | Edifício Novo | Não | 0,84 | 0,84 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,75 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,84 |
| Tomar | Edifício Novo | Sim | 0,75 | 0,66 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,60 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,70 |
| Guarda | Edifício Novo | Sim | 0,78 | 0,73 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,65 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,75 |
| Vila Real | Edifício Novo | Sim | 0,70 | 0,56 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,51 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,62 |
| Mirandela | Edifício Novo | Sim | 0,80 | 0,76 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,68 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,78 |
| Porto | Edifício Novo | Sim | 0,83 | 0,83 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,74 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,82 |
| Lisboa | Edifício Novo | Sim | 0,78 | 0,72 |
| | Edifício 1991 e 2012 | Sim | | 0,65 |
| | Edifício 1961 e 1990 | Sim | | 0,74 |

Percebe-se claramente que o edifício novo é aquele que de uma forma geral se encontra numa fase inicial mais próximo de atingir o fator de referência e num dos casos não necessita de energia de arrefecimento. O edifício novo e o edifício entre 1961-1990 têm valores muito aproximados em algumas das cidades e ao mesmo tempo muito próximos do fator de referência, apesar de as soluções construtivas serem completamente distintas, tendo o primeiro edifício isolamento e o segundo não. Nestes casos, a diferença vai residir nas necessidades energéticas de aquecimento, que é bastante superior no edifício sem isolamento. O edifício que se encontra mais afastado do valor de referência é entre 1991-2012, onde as alterações terão de ser feitas de forma a reduzir as necessidades energéticas de arrefecimento.

Pode-se também concluir que existem cidades onde muito dificilmente se poderá eliminar por completo as necessidades energéticas de arrefecimento, pois o valor do fator de utilização de ganhos e o de referência são muito distintos.

Capítulo 5

RESULTADOS

5.1 Análise de resultados

Este capítulo visa apresentar a variação do fator de utilização de ganhos e compara-lo com o de referência para os três edifícios estudados. São indicadas para cada edifício as alterações individuais e aquelas que mais impacto têm nas necessidades energéticas para arrefecimento. Nos gráficos seguintes, a cor amarela é referente ao valor do fator de utilização de ganhos de referência do edifício em estudo, sendo esse o valor que indica se o edifício necessita ou não de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. Quando a barra do gráfico se encontra a azul, quer dizer que a intervenção nesse elemento construtivo não é suficiente para eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento. Por outro lado, quando a barra se encontra a vermelho, a alteração consegue eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento no edifício.

5.1.1 Variação do fator de utilização de ganhos em Portimão

Como já foi referido anteriormente a cidade estudada da zona I1-V1 é a cidade de Portimão. Assim são apresentados três gráficos que representam os resultados obtidos para os três edifícios estudados. Com a ajuda destes pode-se perceber que valor toma o fator de utilização de ganhos com a respetiva alteração e compara-lo com o fator de utilização de ganhos de referência. Na Figura 5.1 apresentada é relativa ao edifício novo.



Figura 5. 1: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Portimão

O edifício situado na cidade de Portimão encontra-se numa fase inicial muito afastado do fator de utilização de ganhos de referência como se pode observar na Figura 5.1, e por isso é importante intervir nas soluções construtivas de forma a eliminar as necessidades de arrefecimento do edifício.

Quando se altera a solução construtiva das paredes exteriores para um coeficiente de transmissão térmica mais alto e por isso com menos isolamento, percebe-se que aumenta as necessidades energéticas de aquecimento e o impacto nas necessidades energéticas de arrefecimento é mínimo. Por outro lado, uma solução construtiva mais isolada na cobertura

com um coeficiente de transmissão térmica menor, diminui as necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento. Contudo não é suficiente na cidade de Portimão para eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento.

É necessário isolar bem a cobertura pois durante a estação de verão é o elemento construtivo que recebe maior radiação.

Para o fator de utilização de ganhos aumentar e assim reduzir as necessidades energéticas de arrefecimento, é necessário diminuir os ganhos solares brutos pela envolvente opaca e pelos envidraçados.

Assim, como se pode perceber recorrendo a Figura 5.1, a alteração que consegue eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento é uma alteração de todos os elementos construtivos e ainda colocar uma taxa de renovação de ar mínima de $1h^{-1}$.

Em relação ao edifício entre 1991-2012 indicado na Figura 5.2, pode-se concluir que as alterações individualizadas não conseguem eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento.

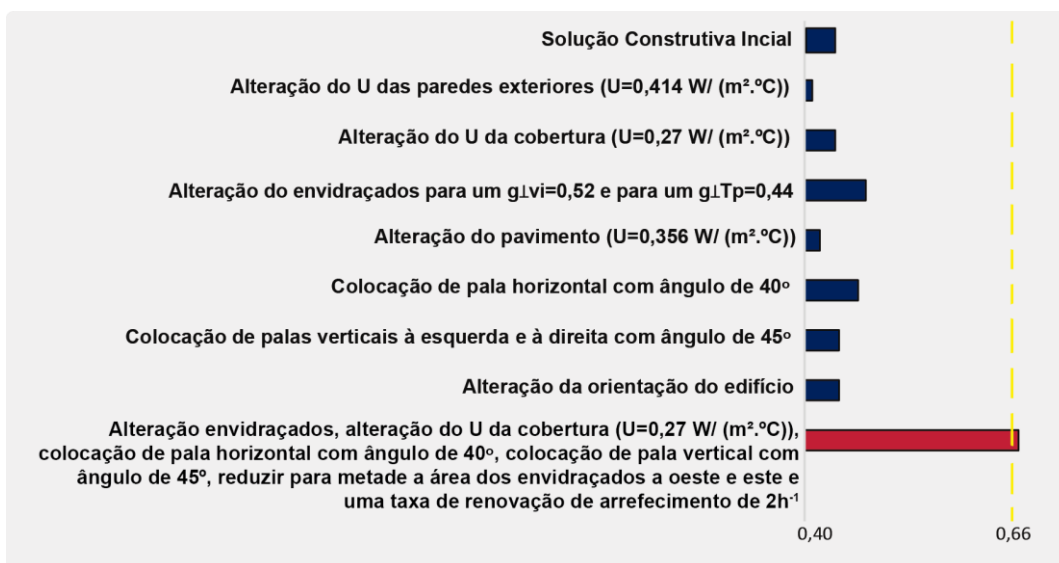


Figura 5. 2: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Portimão

Só se torna possível essa eliminação quando se faz um conjunto de alterações, em que se reduz para quase metade os ganhos solares brutos pelos envidraçados e pela envolvente opaca. Esse conjunto de alterações consiste na alteração dos envidraçados, do coeficiente de transmissão térmica da cobertura, na colocação de pala horizontal e vertical, em reduzir a área dos envidraçados a oeste e este para metade da sua área inicial e ainda numa taxa de renovação do ar na estação de arrefecimento de $2h^{-1}$.

A Figura 5.3 mostra o valor do fator de utilização de ganhos consoante a alteração da solução construtiva efetuada no edifício representativo do período entre 1961-1990.

Em relação a este edifício pode-se concluir que o fator de utilização de ganhos é o mais aproximado do de referência.

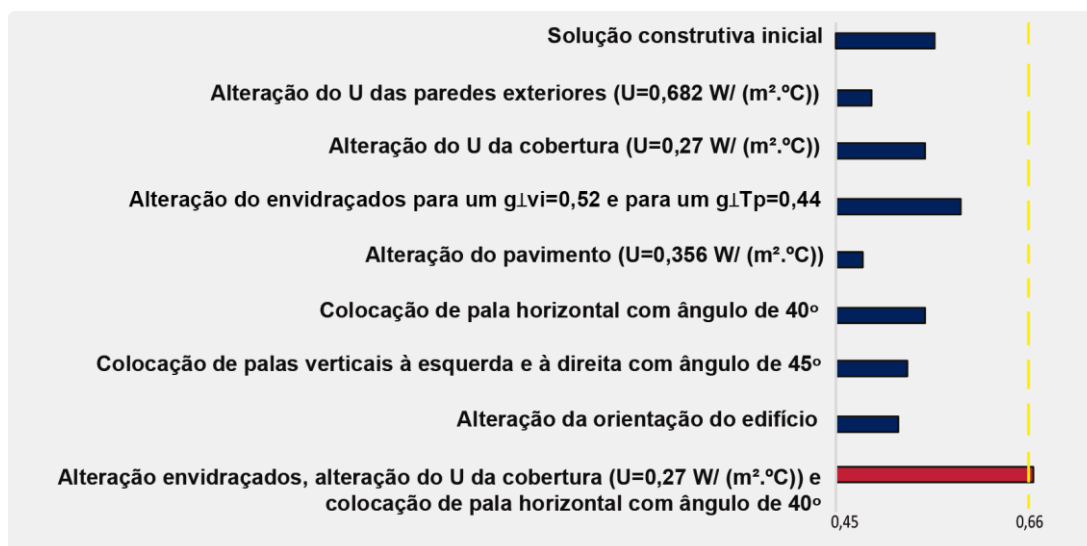


Figura 5. 3: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Portimão

É um edifício que com a solução construtiva original não tem isolamento e que apresenta necessidades energéticas de aquecimento muito superiores à necessária nos outros edifícios em estudo.

Consegue-se assim eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento deste edifício isolando a cobertura, melhorando os envidraçados e assim reduzir os ganhos solares pelos envidraçados e ainda colocando uma pala horizontal que na solução inicial não existia.

Em suma, pode-se perceber que é possível eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento num edifício situado na cidade de Portimão, contudo é necessário implementar nele uma série de soluções construtivas. Essas soluções construtivas consistem no aumento do isolamento na cobertura, na colocação de dispositivos de sombreamento de forma a restringir os ganhos solares e na escolha de envidraçados com um fator solar do vidro menor.

Para além destas alterações, em algum dos casos como se pode perceber com o edifício novo e com o edifício já existente entre 1991-2012 estudados, é necessário aumentar a taxa de renovação do ar.

É interessante perceber ainda que é mais fácil eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento num edifício existente sem isolamento, do que num edifício existente que já apresenta na solução construtiva algum isolamento. Isto também acontece porque a área dos envidraçados do edifício entre 1991-2012 é o dobro da área dos envidraçados do edifício de 1961-1990, proporcionando assim maiores ganhos solares.

5.1.2 Variação do fator de utilização de ganhos em Coimbra

Para a zona climática de I1-V2 a cidade escolhida para implementar estes edifícios foi Coimbra. Foi feita as alterações nos elementos da solução construtiva inicial, de forma a perceber que impacto têm essas intervenções na cidade de Coimbra.

O edifício situado na cidade de Coimbra, numa fase inicial ainda necessita da utilização de sistemas ativos de arrefecimento, mas o fator de utilização de ganhos está próximo do de referência.

Com base na Figura 5.4 pode-se concluir que a intervenção que mais impacto tem nas necessidades energéticas de arrefecimento é a alteração da solução construtiva da cobertura. Esta alteração apresenta um coeficiente de transmissão térmica mais baixo que o da solução inicial ($U=0,160 \text{ W/ (m}^2\cdot\text{°C)}$), o que leva a concluir que este edifício novo na cidade de Coimbra com um coeficiente de transmissão térmica baixo na cobertura não necessita da utilização de sistemas ativos de arrefecimento. É também aquela que além de eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento, consegue diminuir as necessidades energéticas de aquecimento quando comparada com a solução inicial.

De uma maneira geral todas as outras alterações realizadas levam à eliminação da necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento neste edifício estudado.

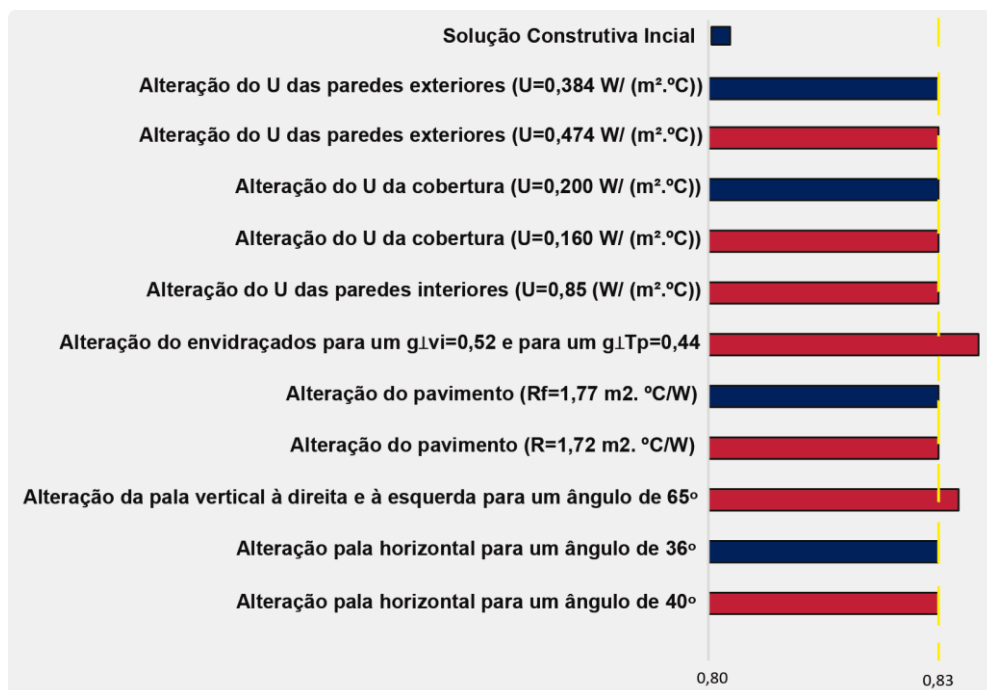


Figura 5. 4: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Coimbra

Como se pode observar através da Figura 5.5, no edifício já existente entre 1991-2012, com a solução construtiva original, o fator de utilização de ganhos ainda se encontra longe do de referência. Assim pode-se concluir que nenhuma das alterações realizadas só a um elemento construtivo leva à eliminação da necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento.

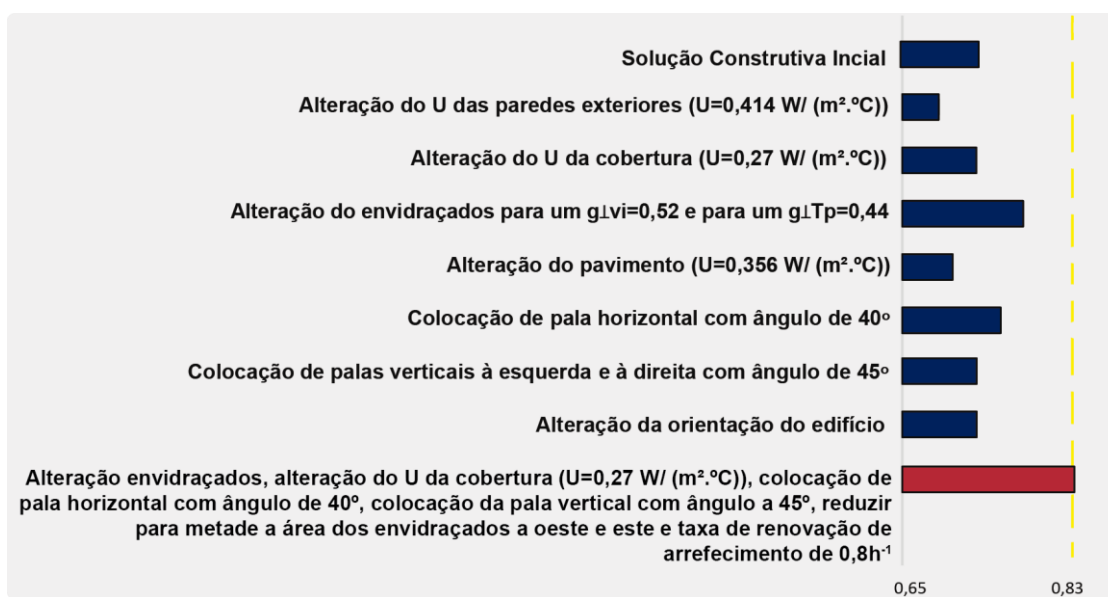


Figura 5. 5: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Coimbra

Contudo há um aumento do fator de utilização de ganhos quando se altera os envidraçados ou se colocam dispositivos de sombreamento horizontais. Uma das alterações que não leva a um aumento, mas sim a uma diminuição do fator de utilização de ganhos é a alteração do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores. Estas, com a solução construtiva original, apresentam um coeficiente de transmissão térmica mais elevado que ao reduzir para metade diminuimos o fator de utilização de ganhos.

Neste edifício aquele conjunto de intervenções que leva à eliminação das necessidades energéticas de arrefecimento é a alteração dos envidraçados, cobertura, a colocação de pala horizontal e vertical, a redução da área dos envidraçados a oeste e este para metade e ainda uma taxa de renovação do ar na estação de arrefecimento de 0,8 renovações por hora. Desta forma, consegue-se restringir os ganhos solares pelos envidraçados e pela cobertura, zona esta que recebe mais radiação na estação de arrefecimento.

O edifício construído entre 1961-1990 situado na cidade de Coimbra, com a solução construtiva original já se encontra próximo do fator de utilização de ganhos de referência como se pode observar a Figura 5.6. Contudo existem alterações nos elementos construtivos que não modificam o fator de utilização de ganhos e outros que o diminuem, é o caso da alteração das paredes exteriores, do pavimento, colocação de palas verticais ou a alteração da orientação do edifício.

Por outro lado, o facto de aumentar o isolamento na cobertura, melhorar os envidraçados ou colocar palas horizontais leva à eliminação da necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento no edifício em estudo. Isto acontece porque restringimos os ganhos solares no verão nos elementos construtivos que nessa estação recebem mais radiação.

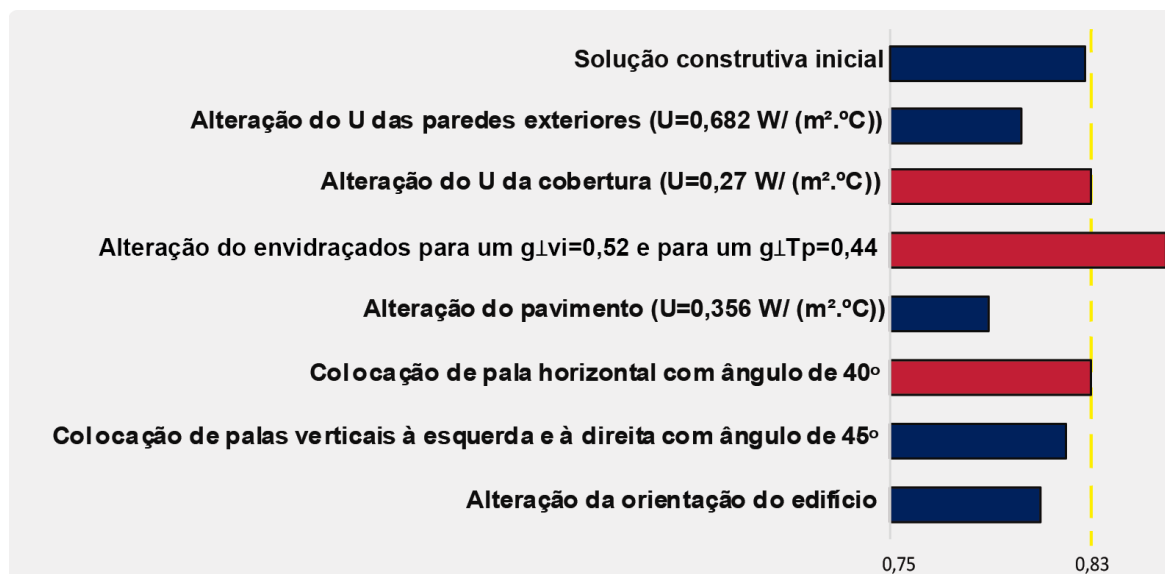


Figura 5. 6: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Coimbra

Pode-se então concluir que as grandes diferenças entre o edifício de 1991-2012 e o edifício novo são os ganhos solares brutos pela envolvente opaca e pelos envidraçados, que são consideravelmente maiores no edifício já existente entre 1991-2012. Contudo é no edifício entre 1961-1990 que se encontra necessidades energéticas de arrefecimento e de aquecimento mais elevadas, pois os ganhos solares brutos pela envolvente opaca são substancialmente superiores aos restantes edifícios.

5.1.3 Variação do fator de utilização de ganhos em Beja

Os edifícios estudados situam-se na cidade de Beja que se encontra na zona climática I1-V3. Com a ajuda das figuras apresentadas pode-se perceber que as alterações nos diferentes edifícios ainda se encontram afastados do fator de utilização de ganhos de referência.

Com todas as alterações realizadas nos diferentes elementos construtivos pode-se concluir recorrendo a Figura 5.7, que não são suficientes para eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento. Efetivamente, só foi possível eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento de um edifício novo situado na cidade de Beja eliminando os envidraçados e com uma taxa de renovação de ar na estação de arrefecimento de 10h^{-1} . Estas alterações foram testadas apenas numa perspetiva de perceber quais as alterações que seriam necessárias de forma a eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento, sem intenção de sugerir qualquer aproximação na prática a estas soluções.

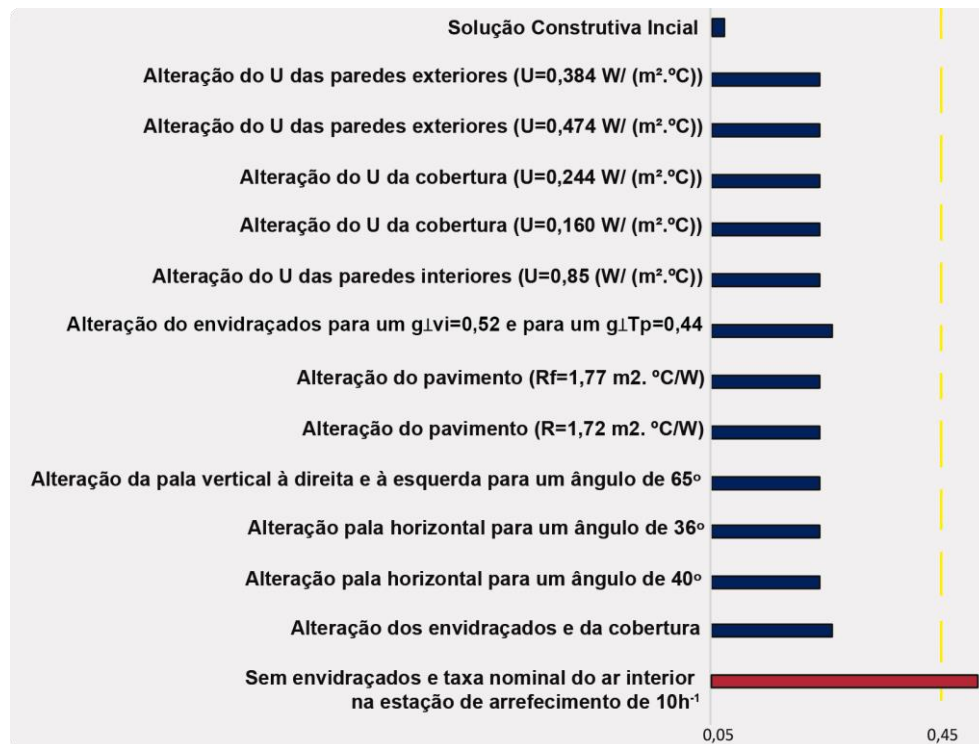


Figura 5. 7: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Beja

O mesmo acontece com o edifício já existente entre 1991-2012 onde só é possível eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento, se o edifício não tivesse envidraçados e se a taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento fosse 14h^{-1} , como mostra a Figura 5.8.

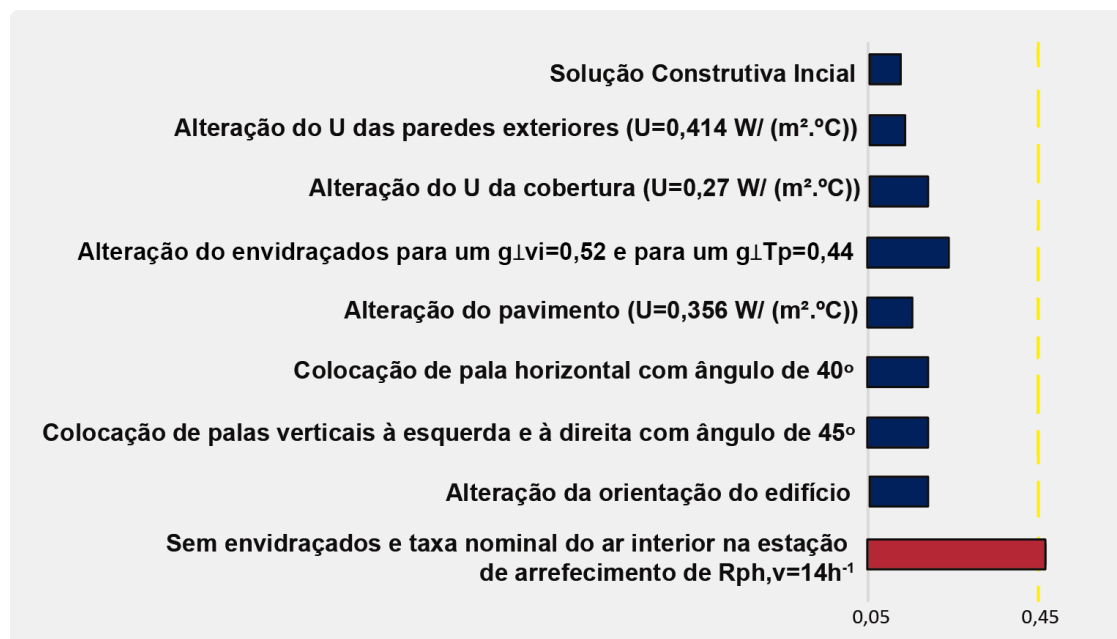


Figura 5. 8: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Beja

Como se pode observar recorrendo a Figura 5.9, quando se alteram os elementos construtivos do edifício não se consegue eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento, mantendo o fator de utilização de ganhos muito distante do fator de utilização de ganhos de referência. De forma a ser possível perceber o quão difícil é na cidade de Beja um edifício não necessitar da utilização de sistemas ativos de arrefecimento foi testada uma alteração exagerada, assim só quando o edifício não apresenta envidraçados e possui uma taxa de renovação de ar na estação de verão de 28h^{-1} é que o fator de utilização de ganhos ultrapassa o fator de utilização de ganhos de referência.

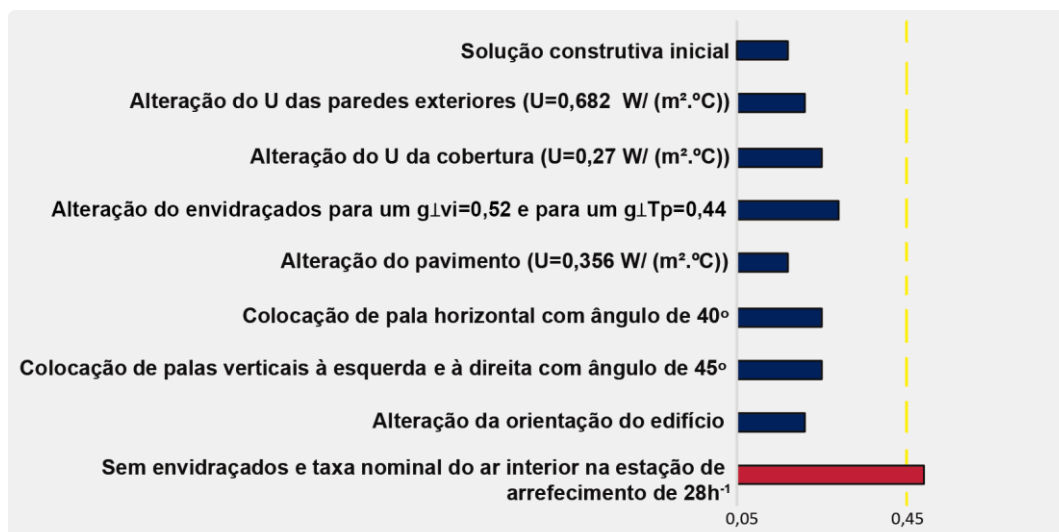


Figura 5. 9: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Beja

Assim pode-se concluir que quando se altera a solução construtiva dos edifícios pouco se modifica o fator de utilização de ganhos, ficando muito longe do de referência. Estas alterações extremas são importantes para perceber como é difícil eliminar na cidade de Beja a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento e que só recorrendo a este tipo de medidas é que era possível, pelo menos nos edifícios de referência testados.

5.1.4 Variação do fator de utilização de ganhos na Póvoa de Varzim

Os edifícios situam-se na Póvoa de Varzim e os gráficos seguintes indicam o seu comportamento quando efetuadas as diferentes alterações nas soluções construtivas.

Na cidade da Póvoa de Varzim este edifício numa fase inicial ainda necessita da utilização de sistemas ativos de arrefecimento, contudo o fator de utilização de ganhos é igual ao fator de utilização de ganhos de referência. Posto isto é possível perceber que uma pequena alteração à solução construtiva inicial leva a que se deixe de precisar de sistemas ativos de arrefecimento.

Como se pode observar através da Figura 5.10 todas as alterações levam à eliminação da necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento no edifício, sendo a alteração da solução construtiva da cobertura aquela que mais benefícios traz pois reduz as necessidades energéticas de aquecimento.

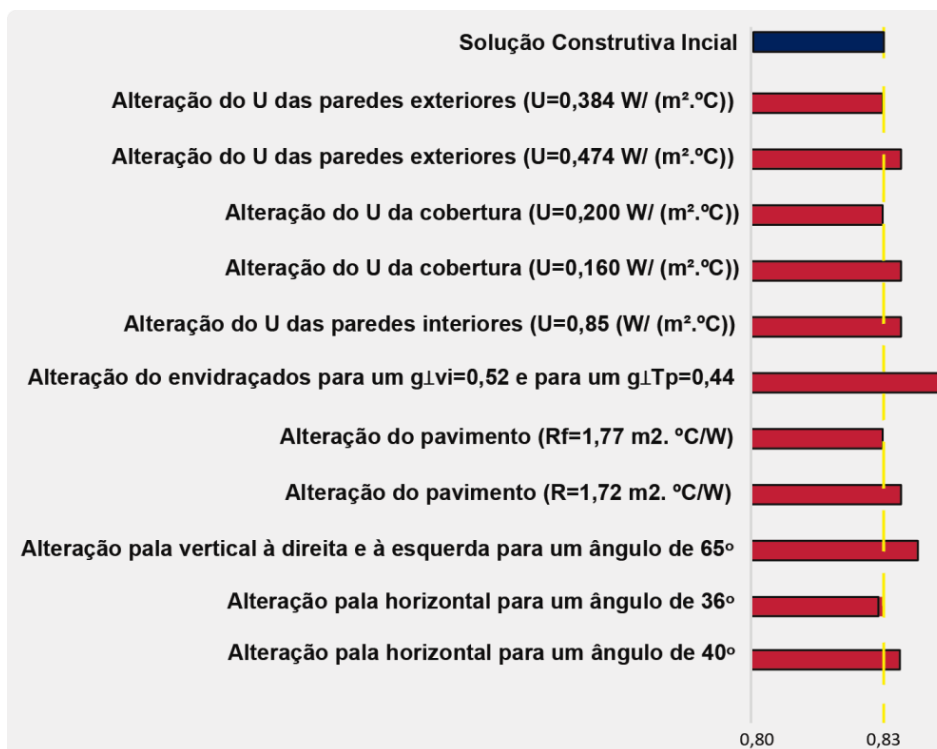


Figura 5. 10: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade da Póvoa de Varzim

No edifício já existente representativo do período 1991-2012 percebe-se, avaliando a Figura 5.11, que nenhuma das alterações é suficiente, ficando o fator de utilização de ganhos ainda afastado do de referência. Torna-se necessário então realizar um conjunto de alterações que consiste em alterar os elementos que mais impacto tem no fator de utilização de ganhos, assim alterando os envidraçados e a área dos mesmos a oeste e este para metade, colocando palas verticais para um ângulo de 50° e horizontais para um ângulo de 40° no edifício e alterando a solução construtiva da cobertura é possível eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento.

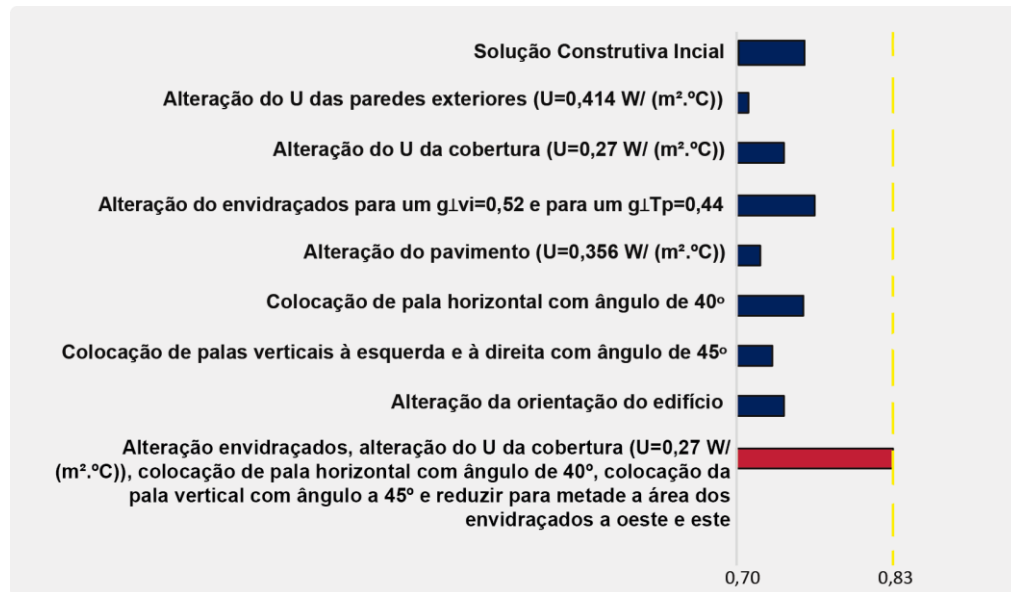


Figura 5. 11: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade da Póvoa de varzim

No edifício existente representativo do período 1961-1990 o fator de utilização de ganhos está muito próximo do de referência como mostra a Figura 5.12, mas ainda são necessárias alterações à solução construtiva original para eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. Assim, quando se altera a solução construtiva da cobertura, os envidraçados ou se colocam palas horizontais, deixa-se de ter necessidades energéticas de arrefecimento no edifício. Importa referir que a alteração do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores ou do pavimento leva a uma diminuição do fator de utilização de ganhos, sendo por isso uma alteração que não traz nenhuma vantagem.

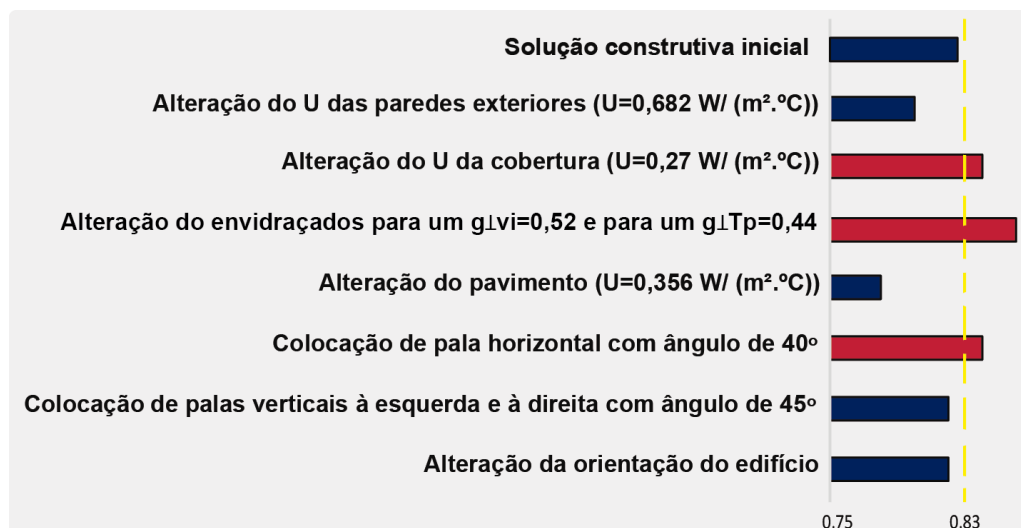


Figura 5. 12: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade da Póvoa de Varzim

Assim, pode-se concluir que o edifício que apresenta numa fase inicial uma necessidade energética de arrefecimento maior é o edifício entre 1961-1991, contudo o fator de utilização de ganhos já se encontra próximo do de referência, sendo possível eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento com a restrição dos ganhos solares pelos envidraçados ou pela diminuição do coeficiente de transmissão térmica na cobertura. O edifício novo é aquele em que qualquer das alterações realizadas na solução construtiva levam a eliminação da necessidade energética de arrefecimento.

5.1.5 Variação do fator de utilização de ganhos em Braga

Os edifícios estudados situam-se na cidade de Braga que pertence a zona I2-V2.

O edifício novo situado na cidade de Braga com a solução inicial já não apresenta necessidades energéticas de arrefecimento como mostra a Figura 5.13. Aqui as alterações são feitas de forma a procurar aquela que exhibe necessidades energéticas de aquecimento menores.

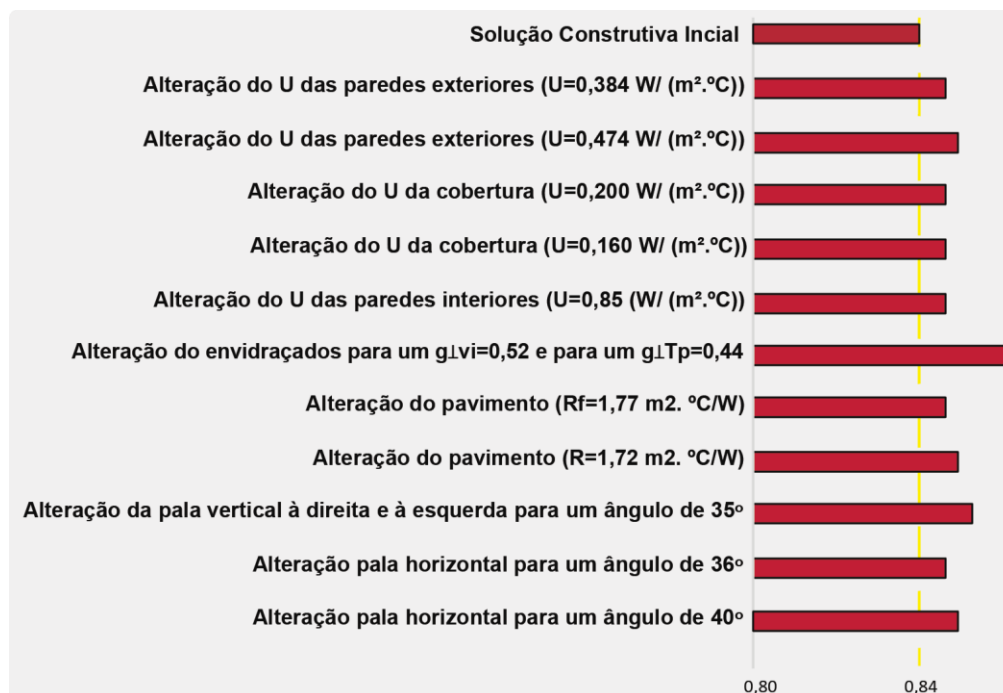


Figura 5. 13: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Braga

No edifício existente representativo do período 1991-2012 recorrendo à Figura 5.14, nenhuma alteração da solução construtiva elimina a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento, mas quando se faz um conjunto de alterações em simultâneo já é possível. Isto acontece porque se reduziu para menos de metade os ganhos solares brutos pela envolvente opaca e pelos envidraçados, restringindo assim os ganhos solares no edifício.

Importa referir que as intervenções que mais impacto têm e por isso juntas conseguem eliminar a necessidade energética de arrefecimento é a alteração da cobertura, dos envidraçados, a colocação de palas horizontais e verticais e ainda reduzir a oeste e este para metade a área dos envidraçados.

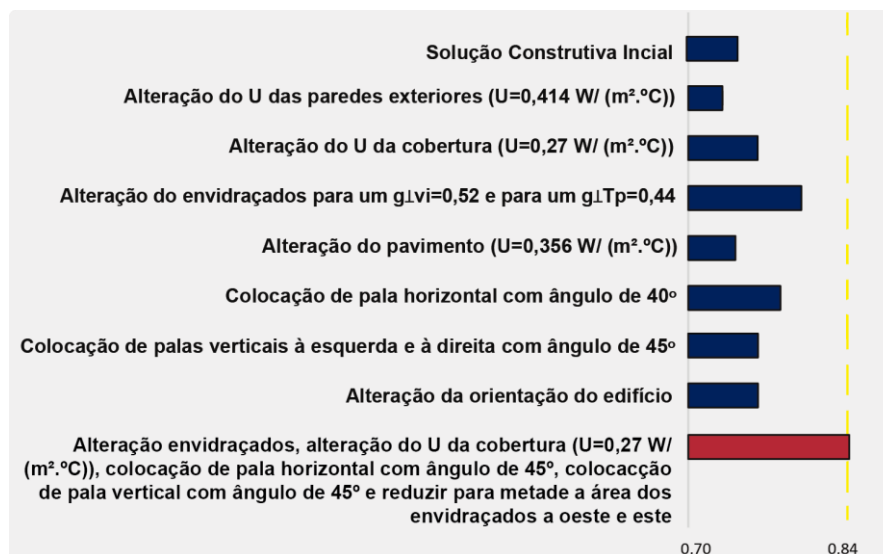


Figura 5. 14: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Braga

Por último, no edifício existente representativo do período 1961-1990, o fator de utilização de ganhos é igual ao de referência como mostra a Figura 5.15, mas não é suficiente para eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento, desta forma torna-se indispensável efetuar alterações na solução construtiva. A alteração que mais vantagens traz é a alteração da solução construtiva da cobertura ($U=0,27 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$), pois além de eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento reduz as necessidades energéticas de aquecimento. Importa referir que este edifício com as soluções construtivas apresenta necessidades energéticas de aquecimento elevadas, sendo por isso relevante reduzir se possível também essa energia.

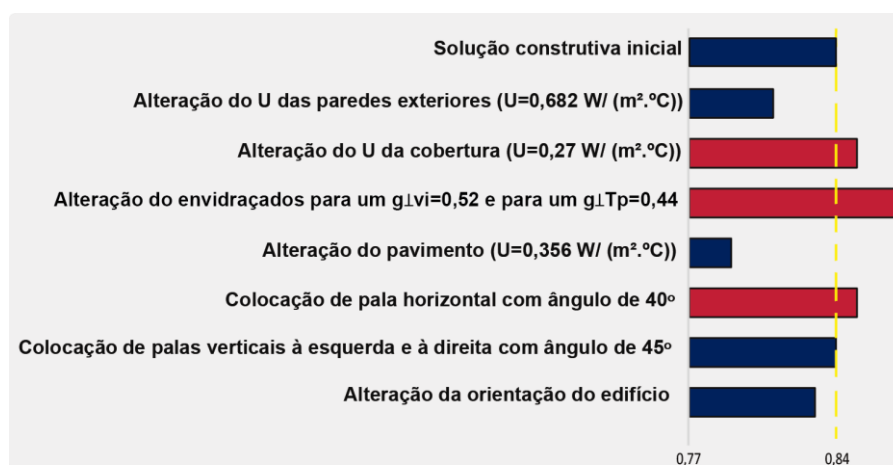


Figura 5. 15: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Braga

Quando comparados os três edifícios estudados consegue-se perceber que o edifício novo é aquele que apresenta soluções construtivas mais vantajosas de forma a eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. Pode-se concluir também que nos edifícios já existentes a alteração do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores para um valor inferior, não conduz ao aumento do fator de utilização de ganhos, mas pelo contrário a uma diminuição.

5.1.6 Variação do fator de utilização de ganhos em Tomar

Os edifícios situam-se na cidade de Tomar, nas figuras seguintes poder-se á comparar o comportamento destes às alterações realizadas nos diferentes elementos construtivos.

Numa primeira análise da Figura 5.16 é possível perceber que o edifício situado na cidade de Tomar ainda se encontra bastante afastado do fator de utilização de ganhos de referência. Dito isto, torna-se importante perceber quais as intervenções nos elementos construtivos que mais impacto tem nesta cidade e neste edifício em concreto de forma a reduzir as necessidades energéticas de aquecimento e eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. Então a alteração que consegue eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento é quando em simultâneo se altera os envidraçados, se diminui o coeficiente de transmissão térmica da cobertura ($U=0,160 \text{ W/ (m}^2\cdot\text{°C)}$) e se aumenta o U das paredes exteriores.

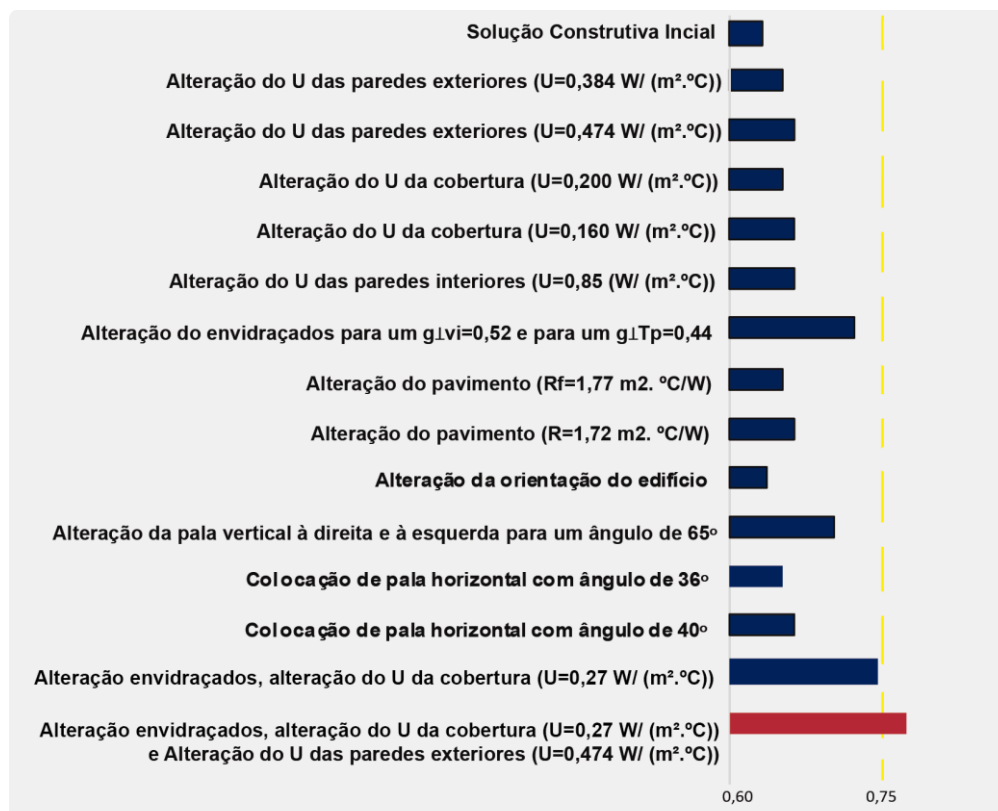


Figura 5. 16: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Tomar

O mesmo acontece no edifício existente representativo do período 1991-2012 que numa fase inicial ainda tem necessidades energéticas de arrefecimento, como mostra a Figura 5.17. Quando realizadas as alterações da solução construtiva individualmente, não se consegue eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento, o mesmo só é conseguido quando é feito um conjunto de alterações na solução construtiva inicial do edifício.

Assim, uma alteração dos envidraçados para vidro duplo e com proteções interiores e exteriores, a colocação de palas verticais e horizontais que outrora não existiam, a alteração da solução construtiva da cobertura para um coeficiente de transmissão térmica menor, a redução para metade da área dos envidraçados a este e oeste e colocando uma taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento de $1,1\text{h}^{-1}$ leva à eliminação das necessidades energéticas de arrefecimento.

Esta alteração reduz os ganhos solares brutos pelos envidraçados para metade dos da solução inicial, assim como dos ganhos solares brutos pela envolvente opaca, levando ao aumento do fator de utilização de ganhos.

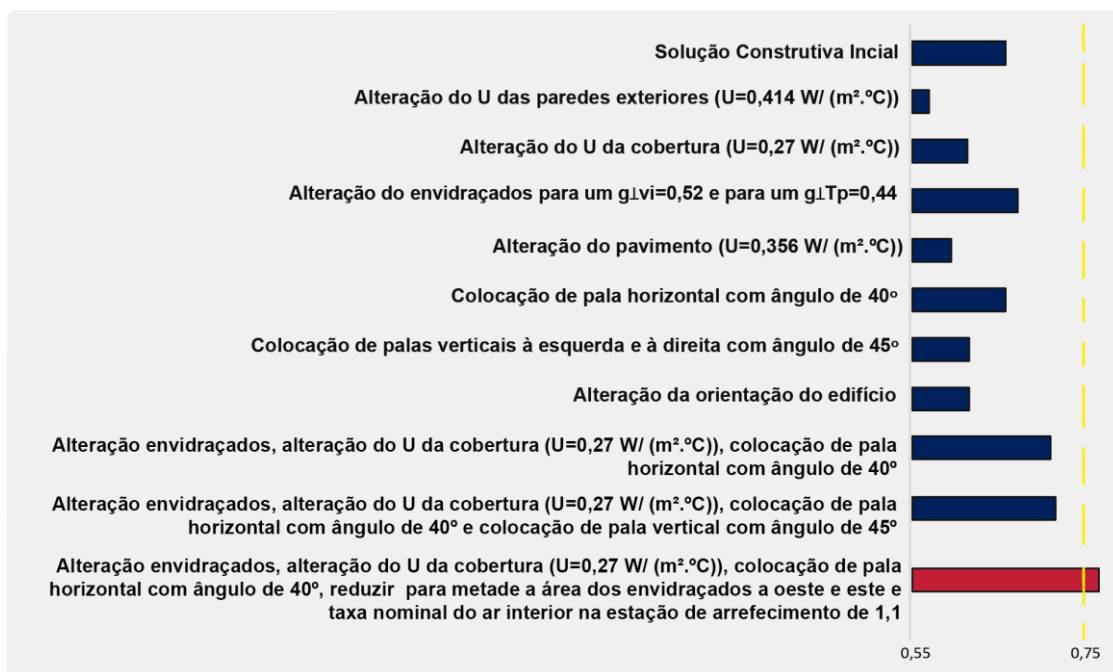


Figura 5. 17: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Tomar

O edifício existente representativo do período 1961-1990 apresenta, tal como mostra a Figura 5.18 um valor inicial próximo ao fator de utilização de ganhos de referência, mas não é suficiente para eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. A alteração da solução construtiva da cobertura para um coeficiente de transmissão térmica menor leva à redução das necessidades energéticas de arrefecimento e diminuição das necessidades energéticas de aquecimento, mas não consegue eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento, mas quando efetuada com a alteração dos envidraçados em simultâneo consegue aumentar o fator de utilização de ganhos e assim eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento. Importa compreender que quando se altera a solução construtiva do pavimento para um coeficiente de transmissão térmica menor, o fator de utilização de ganhos diminui e aumenta as necessidades energéticas de arrefecimento do edifício.

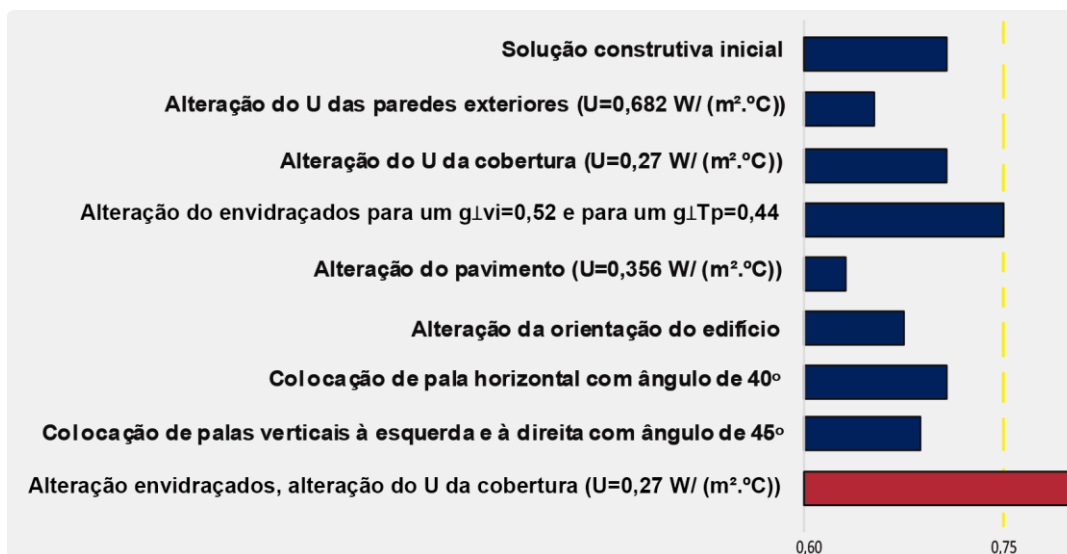


Figura 5. 18: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Tomar

Quando comparados os três edifícios percebe-se que o edifício existente entre 1961-1990 é aquele que apresenta com a solução construtiva original um fator de utilização de ganhos mais aproximado ao de referência. Pode-se concluir também que aquele edifício que se encontra mais afastado e que por isso são necessárias mais intervenções nos elementos construtivos é o edifício existente representativo do período 1991-2012.

5.1.7 Variação do fator de utilização de ganhos na Guarda

A cidade escolhida desta zona climática foi a cidade da Guarda e as figuras seguintes representam os três edifícios estudados.

Na cidade da Guarda numa fase inicial o edifício novo ainda tem necessidades energéticas de arrefecimento e ainda se encontra afastado do fator de utilização de ganhos de referência. Como se pode observar na Figura 5.19 quase nenhuma das alterações efetuadas aos elementos construtivos do edifício levam à eliminação da necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento, contudo com a alteração dos envidraçados isso torna-se possível.

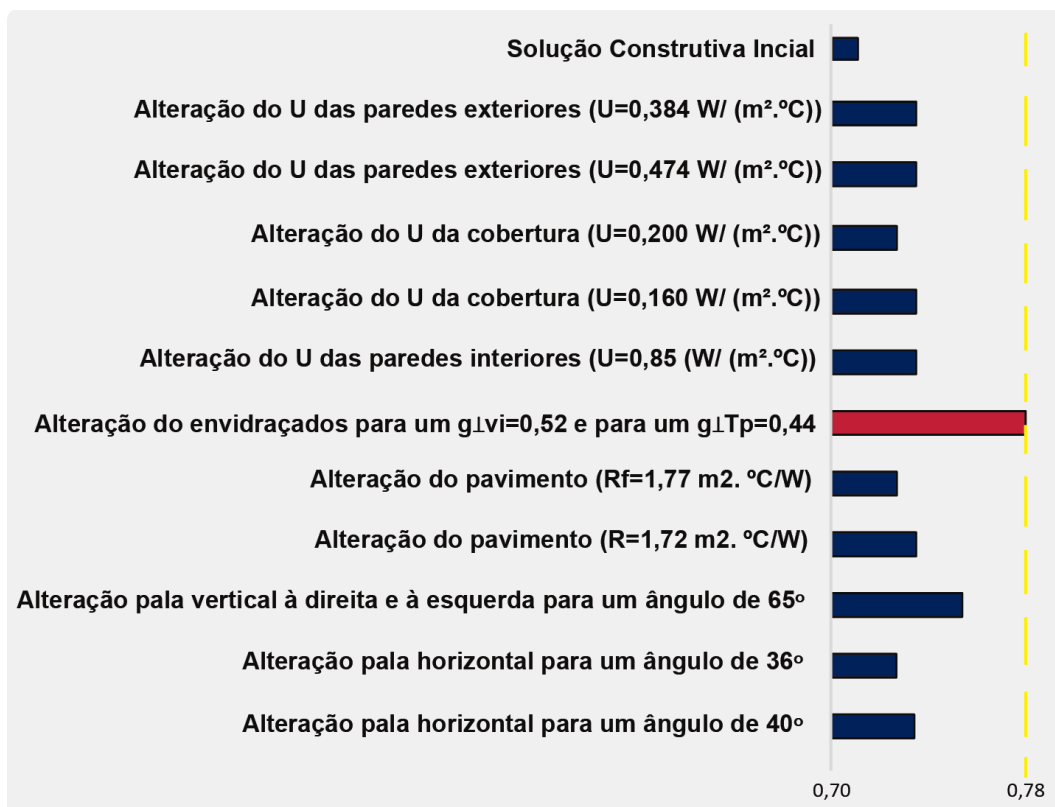


Figura 5. 19: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade da Guarda

Como mostra a Figura 5.20 o edifício existente representativo do período 1991-2012 com as condições iniciais necessita de sistemas ativos de arrefecimento e só se torna possível eliminar a mesma quando fazemos um conjunto de alterações em simultâneo. Estas alterações são aquelas que em separado se aproximam mais do fator de utilização de ganhos, mas que sozinhas não eliminam as necessidades energéticas de arrefecimento. Assim a alteração dos envidraçados e redução da área dos mesmos a oeste e a este para metade, a colocação de pala horizontal e pala vertical, a alteração da solução construtiva da cobertura para um coeficiente de transmissão térmica menor e ainda uma taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de 1h^{-1} , leva à redução das necessidades energéticas de aquecimento e à eliminação da necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento.

Note-se que este edifício com estas características iniciais é um edifício que tem necessidades energéticas de arrefecimento maiores, assim sendo mesmo que as alterações consigam aumentar o fator de utilização de ganhos não é o suficiente para eliminar essa energia.

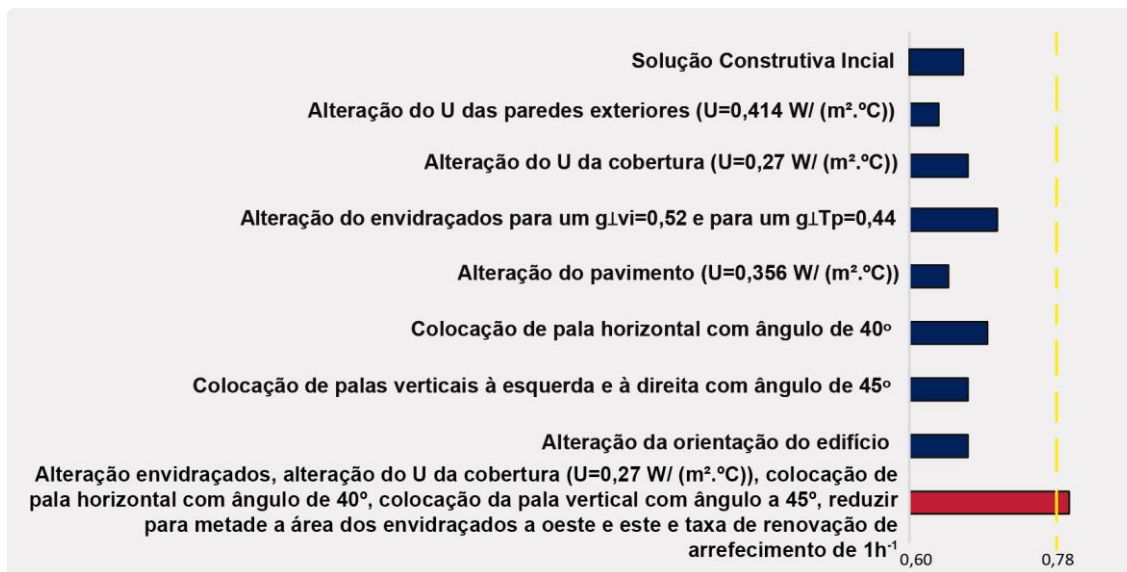


Figura 5. 20: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade da Guarda

No edifício existente representativo do período 1961-1990 o fator de utilização de ganhos é próximo ao de referência como mostra a Figura 5.21, mas ainda são necessários sistemas de arrefecimento, sendo por isso preciso realizar alterações na solução construtiva do edifício. A alteração que mais benefícios traz é a alteração dos envidraçados pois é aquela que consegue eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento do edifício.

Esta alteração leva a uma diminuição drástica dos ganhos solares brutos pela envolvente opaca, assim como a diminuição do coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior.

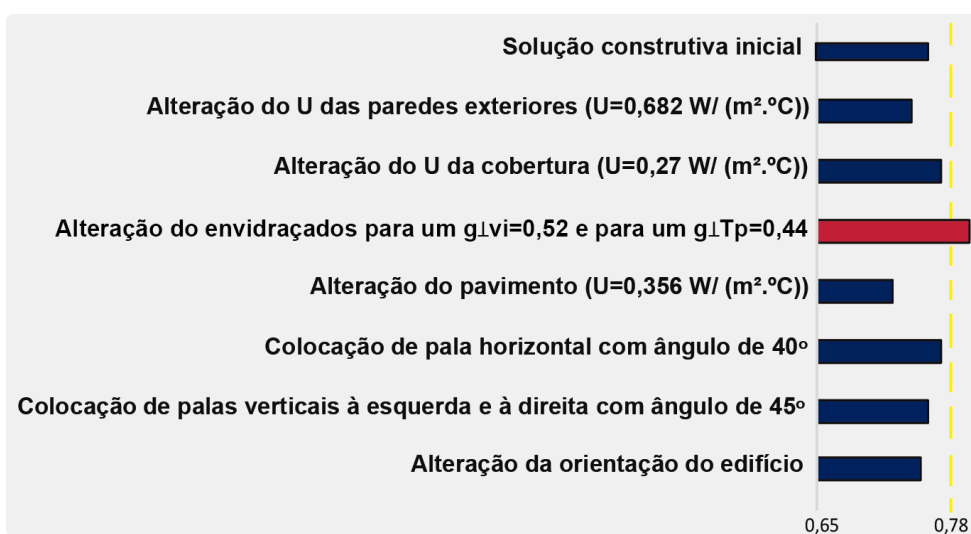


Figura 5. 21: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade da Guarda

Quando comparados os três edifícios conclui-se que o edifício entre 1961-1990 com as soluções construtivas iniciais é aquele que mais aproxima do fator de utilização de ganhos. Todavia nos outros edifícios também é possível eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento, mas para isso é preciso restringir os ganhos pelos envidraçados e/ou pela cobertura. Importa também referir que nestes edifícios a alteração do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores ou do pavimento não leva a um aumento do fator de utilização de ganhos, mas sim a uma diminuição. Todavia para conseguir eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento do edifício entre 1991-2012 é necessário colocar uma taxa de nominal do ar interior na estação de arrefecimento maior que nos restantes edifícios.

5.1.8 Variação do fator de utilização de ganhos em Vila Real

Os edifícios estudados estão situados na cidade de Vila Real e as figuras seguintes mostram a variação do fator de utilização de ganhos quando realizadas as várias alterações na solução construtiva.

No edifício novo o fator de utilização de ganhos ainda se encontra bastante afastado do de referência. Pode-se observar através da Figura 5.22 que só com um conjunto de alterações é que se torna possível eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento. Assim alterando os envidraçados, o coeficiente de transmissão térmica da cobertura, aumentando o ângulo da pala vertical, pavimentos e paredes interiores deixa-se de precisar de sistemas de arrefecimento neste edifício.

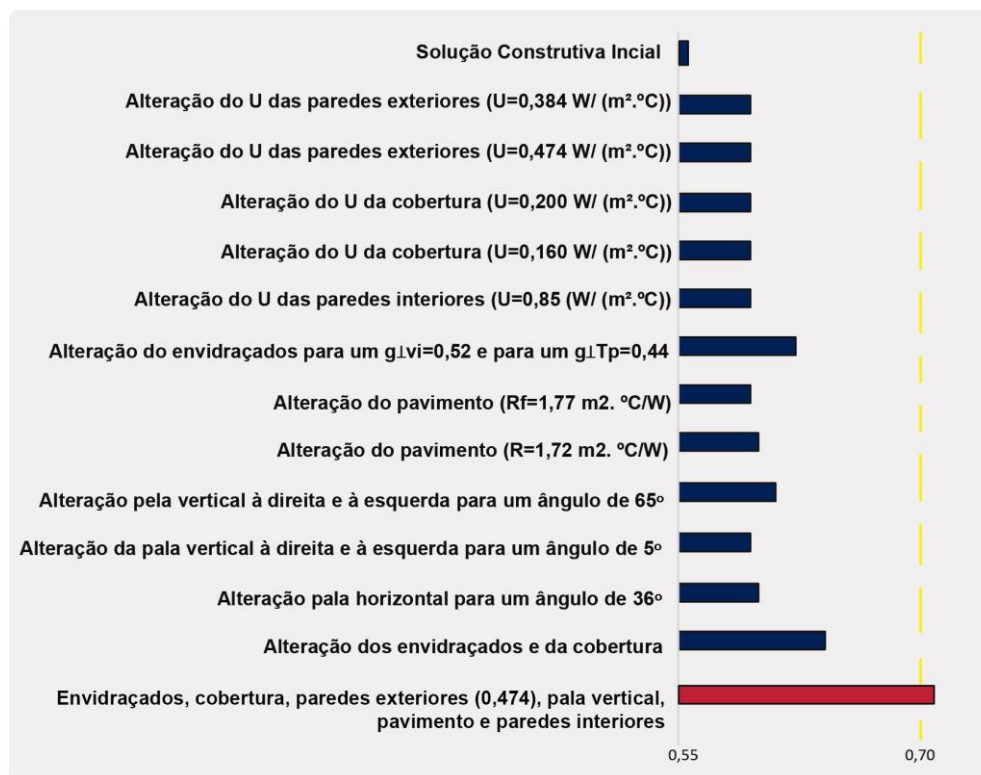


Figura 5. 22: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Vila Real

No edifício já existente representativo do período 1991-2012 o fator de utilização de ganhos ainda está muito longe de atingir o de referência e assim eliminar a energia primária de arrefecimento, como mostra a Figura 5.23. Pode-se perceber que nenhuma das intervenções nos diferentes elementos construtivos leva à eliminação das necessidades energéticas de arrefecimento.

O mesmo só se torna possível quando combinadas várias alterações como os envidraçados, cobertura, colocação de palas verticais e horizontais, a redução da área dos envidraçados para metade a este e oeste e ainda com uma taxa nominal do ar interior de $1,5\text{h}^{-1}$.

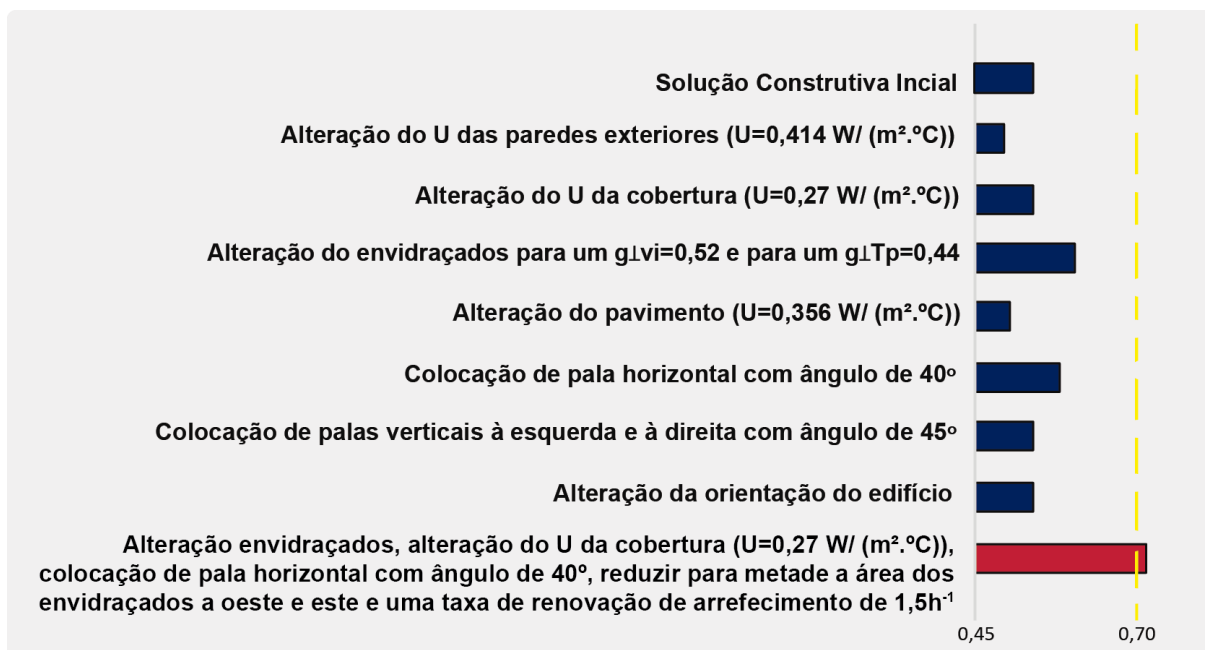


Figura 5. 23: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Vila Real

No edifício existente representativo do período 1961-1990 o fator de utilização de ganhos está próximo do de referência, mas não se consegue eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento quando efetuadas as alterações nos diferentes elementos construtivos. Assim recorrendo à Figura 5.24 pode-se perceber que quando combinadas a alteração dos envidraçados e do coeficiente de transmissão térmica da cobertura é possível eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento na cidade de Vila Real.

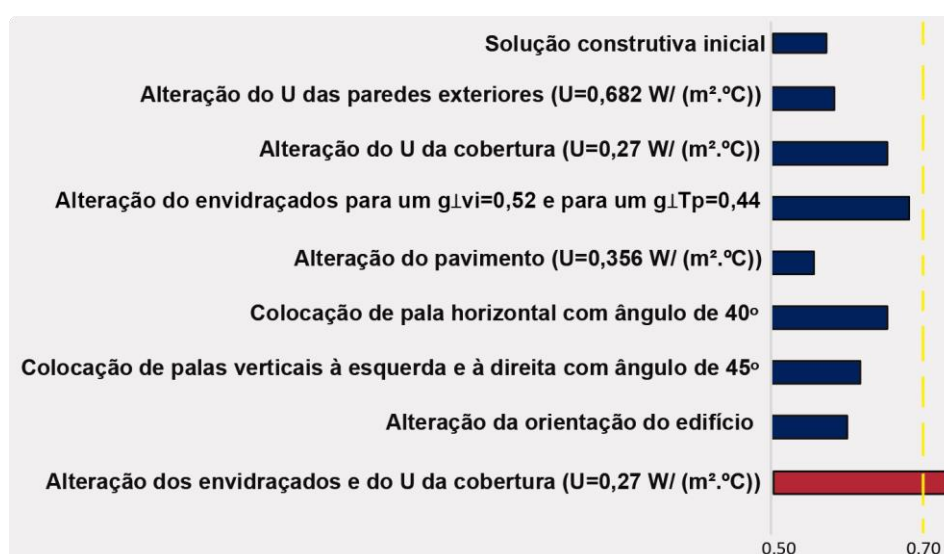


Figura 5. 24: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Vila Real

Pode-se concluir que em todos os edifícios foi necessário realizar um conjunto de alterações para assim se conseguir eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. Contudo, é no edifício existente entre 1991-2012 que se encontra a maior dificuldade para eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento.

5.1.9 Variação do fator de utilização de ganhos em Mirandela

Nas figuras seguintes está representado o comportamento dos edifícios estudados na cidade de Mirandela às alterações efetuadas nos elementos construtivos.

Na cidade de Mirandela como mostra a Figura 5.25 com a solução construtiva original o fator de utilização de ganhos é aproximado ao fator de utilização de ganhos de referência. Contudo só a alteração dos envidraçados é que torna possível a eliminação das necessidades energéticas de arrefecimento, todas as outras alterações não são suficientes.

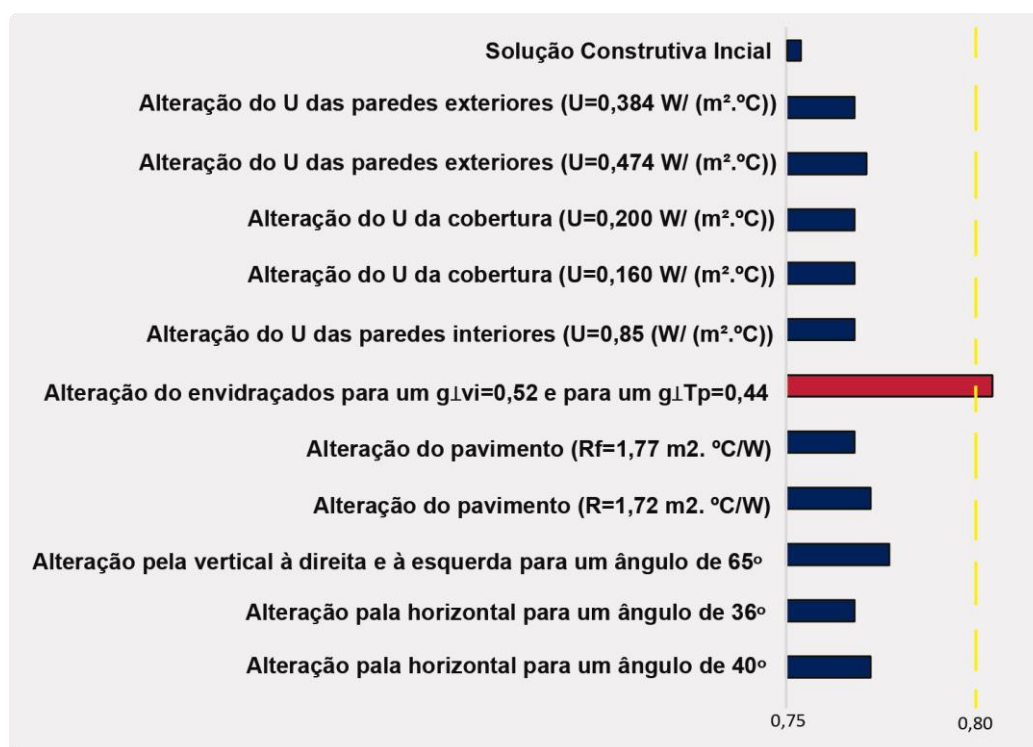


Figura 5. 25: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Mirandela

No edifício existente representativo do período 1991-2012 nenhuma das alterações leva à eliminação dos sistemas ativos de arrefecimento, mas quando combinadas determinadas alterações torna-se possível. Então é necessário perceber recorrendo à Figura 5.26 quais as alterações que mais impacto tem no fator de utilização de ganhos e alterar a solução

construtiva desses vários elementos. Assim modificando os envidraçados e reduzindo a área dos mesmos a oeste e este para metade, colocando palas horizontais e verticais, alterando a solução construtiva da cobertura para um coeficiente de transmissão térmica menor e ainda colocando uma taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de $1h^{-1}$, consegue-se eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento do edifício sem aumentar circunstancialmente as necessidades energéticas de aquecimento.

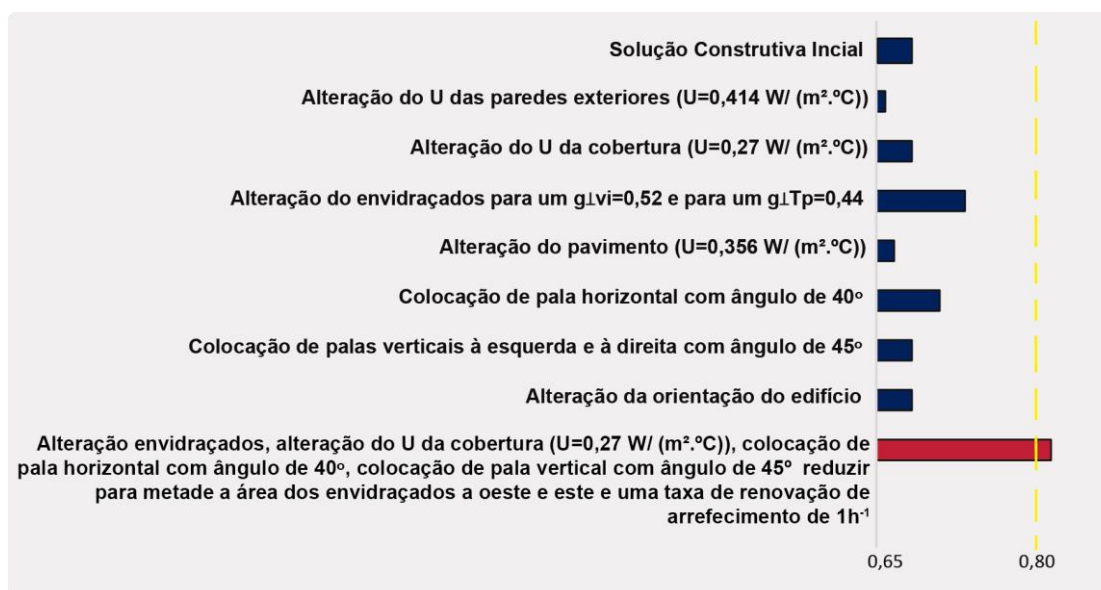


Figura 5. 26: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Mirandela

No edifício existente representativo do período 1961-1990 o fator de utilização de ganhos está próximo ao de referência, mas ainda não é suficiente para eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento. A alteração que torna isso possível é a intervenção nos envidraçados, todas as restantes alterações não são suficientes para eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento no edifício. Recorrendo à Figura 5.27 pode-se perceber que uma alteração no coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores e do pavimento não leva a um aumento do fator de utilização de ganhos antes pelo contrário leva a uma diminuição, isto porque aumentamos o isolamento nestes elementos.

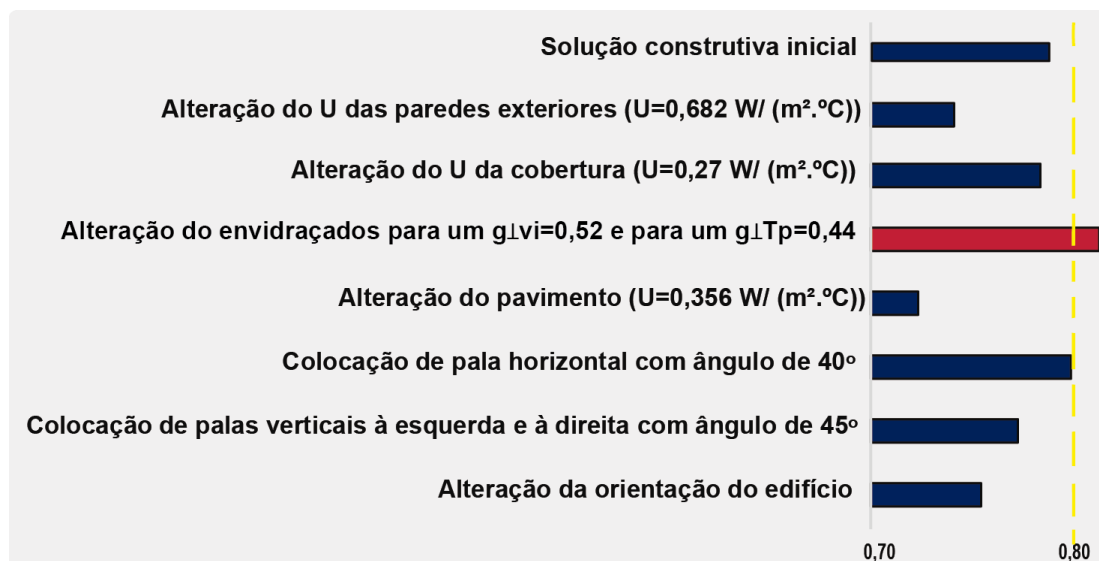


Figura 5. 27: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Mirandela

Quando comparados os três edifícios estudados pode-se perceber que aquele em que as alterações têm mais impacto é no edifício existente representativo do período 1961-1990 pois com a solução construtiva original tem o número elevado de ganhos pela envolvente opaca e pelos envidraçados, e com as diversas alterações é possível reduzir os mesmos. Contudo o edifício que apresenta maiores dificuldades em eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento é o edifício existente representativo do período 1991-2012, em que a alteração de elementos da solução construtiva individualizados não é suficiente.

5.1.10 Variação do fator de utilização de ganhos no Porto

O edifício novo na cidade do Porto tem um fator de utilização de ganhos igual ao de referência, mas ainda precisa de sistemas de arrefecimento, assim sendo, torna-se importante realizar alterações nos elementos da solução construtiva do edifício como mostra a Figura 5.28. Quando se altera a solução construtiva das paredes exteriores ou do pavimento consegue-se eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento, aumentando ligeiramente as necessidades energéticas de aquecimento, sem aumentar o fator de utilização de ganhos. Pode-se concluir também que quanto mais isolamento se coloca na cobertura e assim restringindo os ganhos solares brutos pela envolvente opaca, menor são as necessidades energéticas de aquecimento necessária e deixa-se de precisar de sistemas ativos de arrefecimento.

Uma outra alteração que menor impacto tem no aumento das necessidades energéticas de aquecimento é o aumento do ângulo das palas horizontais ou verticais e assim é possível eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento.

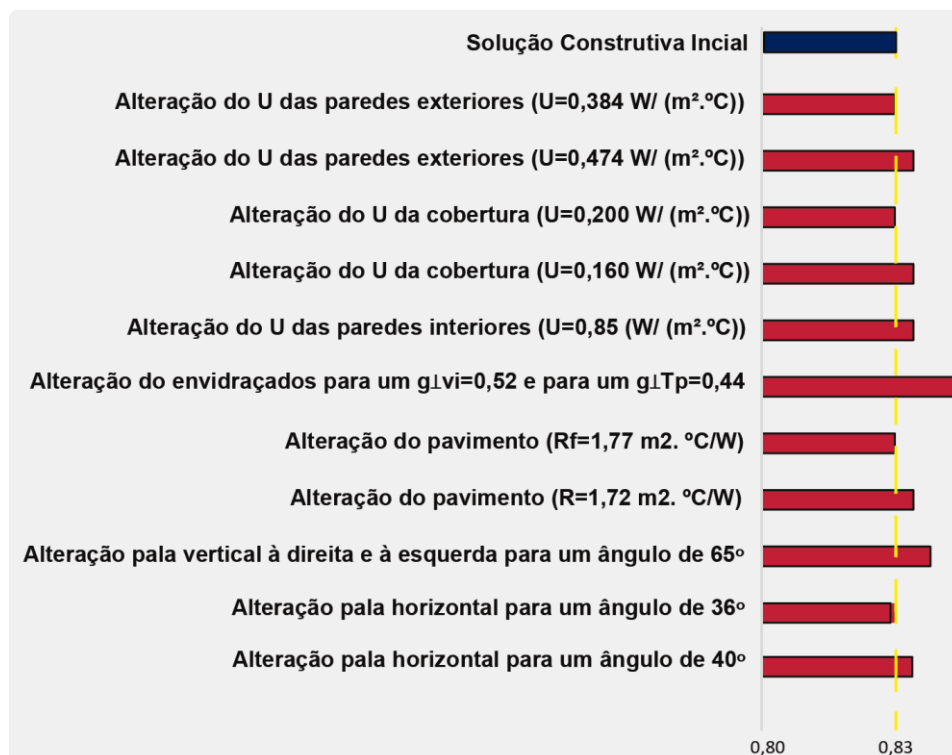


Figura 5. 28: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade do Porto

No edifício existente representativo do período 1991-2012 o fator de utilização de ganhos ainda se encontra muito afastado do de referência e as alterações efetuadas separadamente não são suficientes para eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento como mostra a Figura 5.29.

No entanto isso torna-se possível se fizer um conjunto de alterações em simultâneo, no caso deste edifício alterando os envidraçados e a sua respetiva área para metade a este e oeste, alterando a solução construtiva da cobertura e colocando palas verticais e horizontais com ângulo de 50° obtém-se um fator de utilização de ganhos superior ao de referência.

Importa referir que a diminuição do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores e no pavimento leva à redução do fator de utilização de ganhos do edifício, logo não trás vantagem alguma fazer esse tipo de alterações.

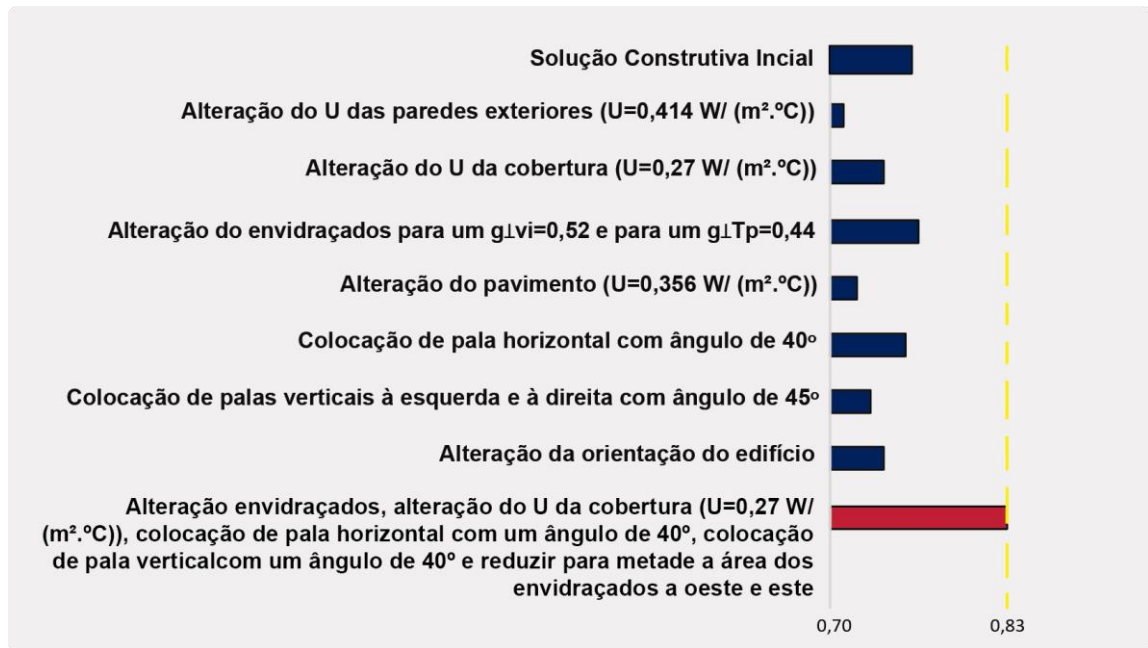


Figura 5. 29: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade do Porto

No edifício existente representativo do período 1961-1990 percebe-se que ainda tem necessidades energéticas de arrefecimento, mas o fator de utilização de ganhos está muito próximo do de referência. Neste edifício as alterações que torna isso possível recorrendo à Figura 5.30 é a alteração da cobertura, envidraçados ou a colocação de pala horizontal, em que a alteração da solução construtiva da cobertura traz mais vantagens pois reduz as necessidades energéticas de aquecimento.

Importa também referir que existem alterações que trazem desvantagens quando realizadas neste edifício e nesta cidade pois afastam-se do fator de utilização de ganhos de referência, são elas a alteração da solução construtiva do pavimento e das paredes exteriores.

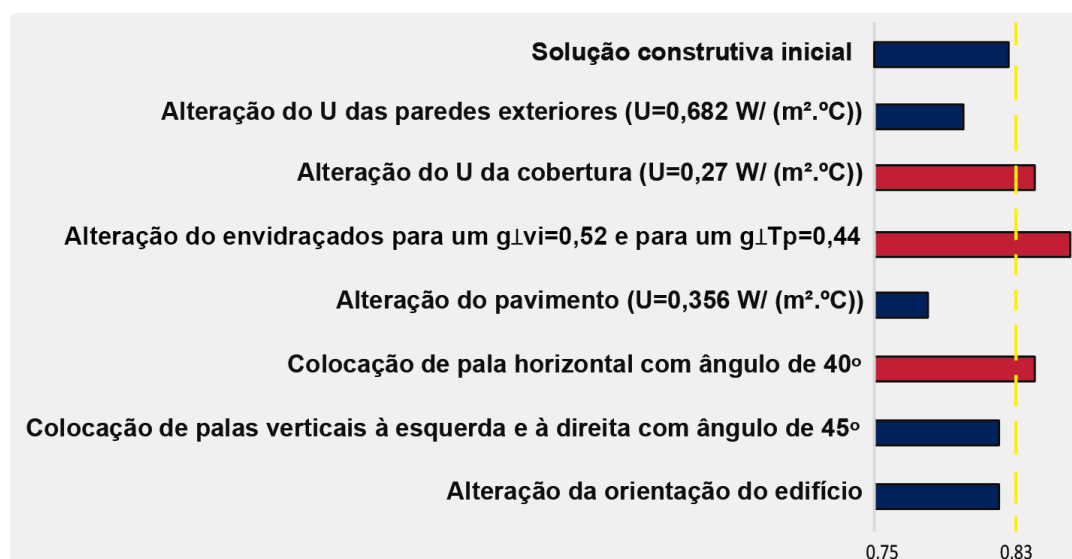


Figura 5. 30: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade do Porto

Quando comparados as três Figuras, é possível perceber que no edifício novo qualquer alteração é suficiente para eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento e que o mesmo não acontece nos restantes edifícios. Ainda é possível concluir que o edifício que tem mais necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento numa fase inicial é o edifício existente representativo do período 1961-1990, mas que com intervenções na solução construtiva consegue eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento mais facilmente que o edifício existente representativo do período 1991-2012.

5.1.11 Variação do fator de utilização de ganhos em Lisboa

No edifício novo a solução inicial ainda se encontra distante do fator de utilização de ganhos de referência sendo necessário fazer alterações na sua solução construtiva como apresentado na Figura 5.31. Assim percebe-se que só quando se efetua um conjunto de alterações em simultâneo é que se consegue eliminar a utilização de sistemas ativos de arrefecimento. A diferença entre a solução inicial e a solução alterada está nos ganhos solares brutos pelos envidraçados e pela envolvente opaca que são menores, o que é suficiente para eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento no edifício.

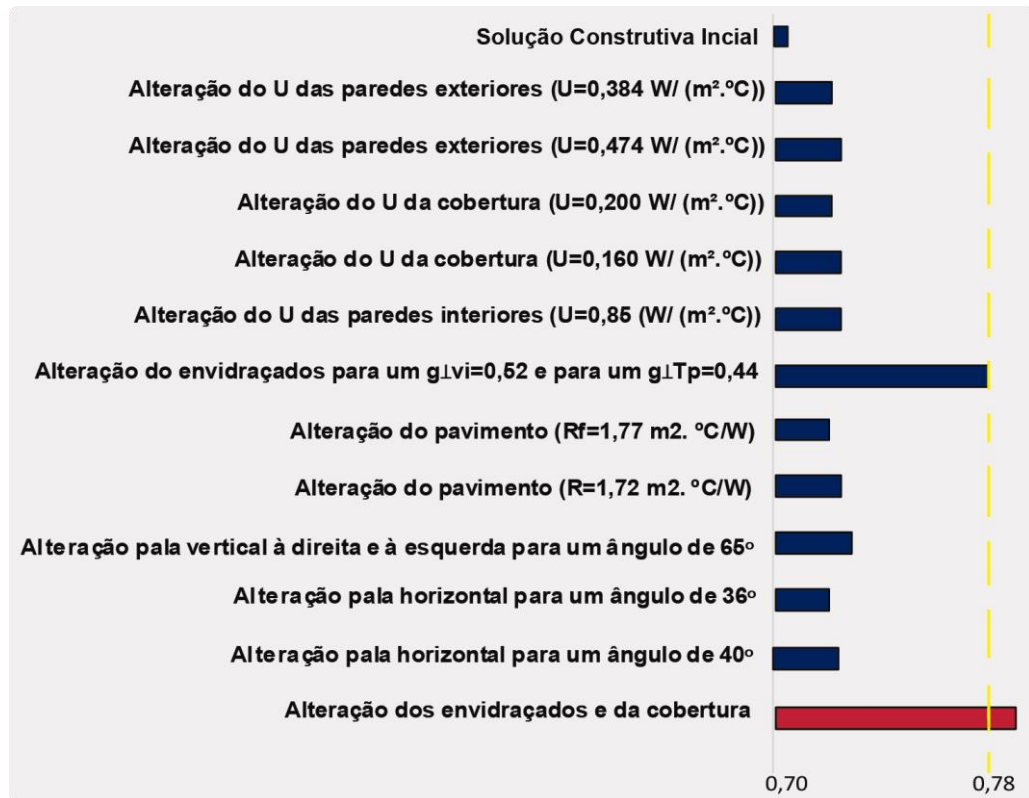


Figura 5.31: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício I situado na cidade de Lisboa

No edifício existente representativo do período 1991-2012 com a solução original ainda se encontra afastada do fator de utilização de ganhos, sendo por isso necessárias algumas intervenções nos elementos construtivos. Recorrendo à Figura 5.32 percebe-se que individualmente nenhuma alteração é suficiente para eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento, mas conjugadas e com uma ventilação de 1h^{-1} torna-se possível.

Pode-se concluir que as alterações que restringem os ganhos solares pela cobertura ou pelos envidraçados, são aquelas que mais impacto tem no edifício e assim levam à eliminação das necessidades energéticas de arrefecimento.

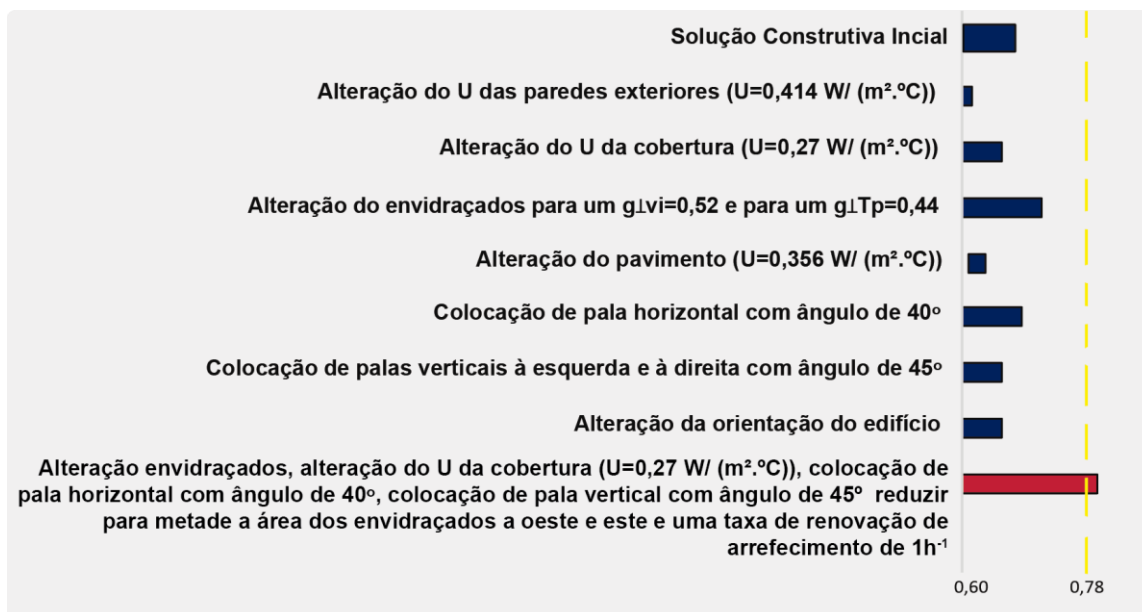


Figura 5. 32: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício II situado na cidade de Lisboa

O edifício existente III é de todos os edifícios aquele que mais se aproxima numa fase inicial do fator de utilização de ganhos de referência, contudo também é aquele que mais necessidades energéticas de arrefecimento e aquecimento precisa. Sendo este um edifício com uma solução inicial sem isolamento e com vidro simples, as alterações na solução construtiva têm mais impacto no fator de utilização de ganhos que nos outros edifícios. Contudo, só é possível eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento quando se altera a solução construtiva dos envidraçados.

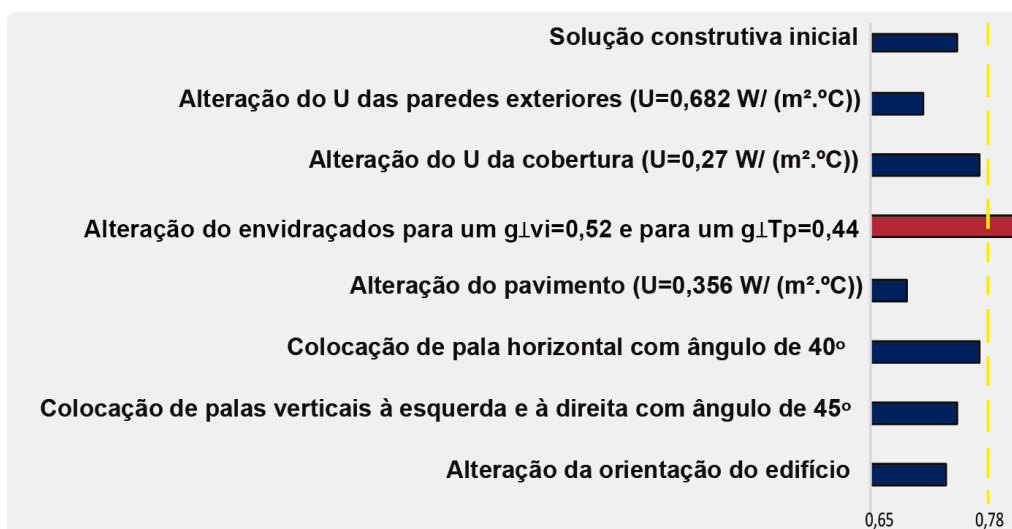


Figura 5. 33: Variação do fator de utilização de ganhos consoante a alteração efetuada na solução construtiva, no edifício III situado na cidade de Lisboa

Pode-se então concluir segundo a Figura 5.33 que na cidade de Lisboa os edifícios com as soluções construtivas iniciais necessitam de sistemas de arrefecimento, sendo por isso as intervenções importantes. No caso do edifício de 1991-2012 só se torna possível quando se aumenta a taxa de renovação do ar.

5.2 Considerações finais

Numa análise geral pode-se perceber que os diferentes edifícios estudados apresentam comportamentos distintos nas várias zonas climáticas. Existem edifícios que, em certas localizações, mesmo nas suas condições iniciais, já não têm necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento, enquanto noutras localizações é necessário introduzir várias alterações para eliminar essa necessidade. Isto acontece porque cada zona climática tem um fator de utilização de ganhos diferente e necessidades energéticas de arrefecimento diferentes, e muitas requerem que haja uma maior restrição dos ganhos solares. Conclui-se assim que cada zona climática tem de ser analisada individualmente e se comporta de forma diferente às alterações realizadas.

Pode-se constatar que também os diferentes edifícios estudados se comportam de maneira diferente às soluções construtivas e às alterações realizadas nos diversos elementos. O edifício novo foi aquele que, pela sua solução construtiva inicial teve mais facilidade na eliminação das necessidades energéticas de arrefecimento, contudo o edifício existente representativo do período 1961-1990, quando alterada a parte dos envidraçados ou o coeficiente de transmissão térmica da cobertura para um valor bastante inferior ao inicial também se consegue eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento.

De uma maneira geral, o edifício existente representativo do período 1991-2012 foi aquele que mais dificuldades apresentou na eliminação das necessidades energéticas de arrefecimento, mas com diversas alterações é possível isso acontecer.

No caso da intervenção nas paredes exteriores o que acontece é que no edifício novo estamos a aumentar o coeficiente de transmissão térmica e nos restantes edifícios estamos a diminuir, isto devido à solução construtiva inicial. Assim, no edifício novo a solução construtiva inicial contém um coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores reduzido e a alteração consiste em aumentar o coeficiente de transmissão térmica para o dobro. No caso dos restantes edifícios a alteração é o contrário, tem-se edifícios com um coeficiente de transmissão térmica elevado e o que se fez foi reduzir esse coeficiente para menos de metade, logo reduz o fator de utilização de ganhos e torna-se uma alteração que não contribui para a

eliminação das necessidades energéticas de arrefecimento. Pode-se concluir que o impacto do coeficiente de transmissão térmica é o mesmo, mas varia devido às diferentes alterações realizadas.

Uma das alterações que se comporta da mesma forma nos diferentes edifícios e nas diferentes zonas climáticas é a redução do coeficiente de transmissão térmica da cobertura pois é possível com isso restringir os ganhos solares no elemento que durante a estação de verão mais radiação recebe, esta alteração melhora o comportamento do edifício tanto no arrefecimento como no aquecimento.

Quando se aumenta ou se colocam palas verticais ou horizontais pode-se perceber que as necessidades energéticas de arrefecimento reduzem e em alguns dos casos é eliminada a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. É necessária especial atenção no dimensionamento das mesmas, de forma a não serem demasiado grandes e por isso não aumentar as necessidades energéticas de aquecimento nos edifícios pela redução dos ganhos solares no inverno.

Relativamente à inércia térmica dos diferentes edifícios estudados é importante referir que o edifício novo é o único que dispõe de uma inércia térmica forte, os restantes edifícios apresentam inércia térmica média. Este é um dos fatores que influenciam o cálculo do fator de utilização de ganhos e também por isso o edifício novo obtém melhores resultados. A Tabela 5.1 apresenta uma comparação entre os diferentes edifícios e diferentes zonas climáticas do fator de utilização de ganhos.

Tabela 5. 1: Tabela Comparativa entre os diferentes edifícios estudados e as diferentes zonas climáticas

| | Portimão | Coimbra | Beja | Póvoa de Varzim | Braga | Tomar | Guarda | Vila Real | Mirandela | Porto | Lisboa |
|--|----------|---------|------|-----------------|-------|-------|--------|-----------|-----------|-------|--------|
| Edifício novo | | | | | | | | | | | |
| Alteração pala horizontal para um ângulo de 40° | 0,47 | 0,83 | 0,08 | 0,84 | 0,85 | 0,68 | 0,74 | 0,58 | 0,78 | 0,84 | 0,74 |
| Alteração da pala vertical à direita e à esquerda para um ângulo de 65° | 0,49 | 0,85 | 0,08 | 0,85 | 0,87 | 0,7 | 0,76 | 0,59 | 0,79 | 0,85 | 0,75 |
| Alteração do pavimento ($R=1,72 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$) | 0,48 | 0,83 | 0,08 | 0,84 | 0,86 | 0,68 | 0,74 | 0,58 | 0,78 | 0,84 | 0,74 |
| Alteração do pavimento ($R_f=1,77 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$) | 0,47 | 0,83 | 0,08 | 0,83 | 0,85 | 0,67 | 0,73 | 0,57 | 0,77 | 0,83 | 0,73 |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$ | 0,52 | 0,87 | 0,09 | 0,87 | 0,89 | 0,73 | 0,78 | 0,62 | 0,82 | 0,87 | 0,78 |
| Alteração do U das paredes interiores ($U=0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) | 0,47 | 0,83 | 0,08 | 0,84 | 0,85 | 0,68 | 0,74 | 0,57 | 0,77 | 0,84 | 0,74 |
| Alteração do U da cobertura ($U=0,160 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) | 0,47 | 0,83 | 0,08 | 0,84 | 0,85 | 0,68 | 0,74 | 0,57 | 0,77 | 0,84 | 0,74 |
| Alteração do U da cobertura ($U=0,200 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) | 0,47 | 0,83 | 0,08 | 0,83 | 0,85 | 0,67 | 0,73 | 0,57 | 0,77 | 0,83 | 0,73 |
| Alteração do U das paredes exteriores ($U=0,474 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) | 0,47 | 0,83 | 0,08 | 0,84 | 0,86 | 0,68 | 0,74 | 0,57 | 0,78 | 0,84 | 0,74 |
| Alteração do U das paredes exteriores ($U=0,384 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) | 0,47 | 0,83 | 0,08 | 0,83 | 0,85 | 0,67 | 0,74 | 0,57 | 0,77 | 0,83 | 0,73 |
| Alteração envidraçados, paredes exteriores ($U=0,474 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), cobertura ($U=0,160 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), pala vertical com ângulo de 65° e horizontal com ângulo de 40°, pavimentos ($R_f=0,172 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$), paredes interiores ($U=0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de 1 h^{-1} | 0,67 | | 0,12 | | | | | | | | |
| Alteração envidraçados, paredes exteriores ($U=0,474 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), cobertura ($U=0,160 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), pala vertical com ângulo de 65°, pavimentos ($R_f=0,172 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$) e paredes interiores ($U=0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) | 0,6 | | | | | | | | | | |
| Alteração envidraçados, paredes exteriores ($U=0,474 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), cobertura ($U=0,160 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), pala vertical com ângulo de 65° e horizontal com ângulo de 40°, pavimentos ($R_f=0,172 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$) e paredes interiores ($U=0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) | 0,62 | | | | | | | | | | |
| Alteração envidraçados e cobertura ($U=0,160 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) | 0,54 | | 0,09 | | | 0,74 | | 0,64 | | | 0,8 |
| Alteração envidraçados, cobertura ($U=0,160 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) e paredes exteriores ($U=0,474$) | | | | | | 0,76 | | | | | |
| Sem envidraçados e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de 10 h^{-1} | | | 0,48 | | | | | | | | |
| Alteração envidraçados, paredes exteriores ($U=0,474 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), cobertura ($U=0,160 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), pala vertical com ângulo de 65° e horizontal com ângulo de 40°, pavimentos ($R_f=0,172 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$) e paredes interiores ($U=0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) | | | 0,11 | | | | | 0,71 | | | |
| Alteração pala horizontal para um ângulo de 36° | | | | 0,83 | | | | 0,57 | 0,77 | 0,83 | 0,73 |

| | Portimão | Coimbra | Beja | Póvoa de Varzim | Braga | Tomar | Guarda | Vila Real | Mirandela | Porto | Lisboa |
|---|----------|---------|------|-----------------|-------|-------|--------|-----------|-----------|-------|--------|
| Edifício 1991-2012 | | | | | | | | | | | |
| Alteração da orientação do edifício | 0,44 | 0,74 | 0,08 | 0,75 | 0,76 | 0,61 | 0,66 | 0,52 | 0,69 | 0,75 | 0,66 |
| Colocação de palas verticais à esquerda e à direita com um ângulo de 45° | 0,44 | 0,74 | 0,08 | 0,74 | 0,76 | 0,61 | 0,66 | 0,52 | 0,69 | 0,74 | 0,66 |
| Colocação de pala horizontal com um ângulo de 40° | 0,47 | 0,76 | 0,08 | 0,77 | 0,78 | 0,64 | 0,69 | 0,55 | 0,71 | 0,77 | 0,68 |
| Alteração do pavimento ($U=0376 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) | 0,42 | 0,72 | 0,07 | 0,72 | 0,74 | 0,59 | 0,64 | 0,5 | 0,67 | 0,72 | 0,64 |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$ | 0,48 | 0,78 | 0,09 | 0,78 | 0,8 | 0,65 | 0,7 | 0,57 | 0,73 | 0,78 | 0,7 |
| Alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) | 0,44 | 0,74 | 0,08 | 0,75 | 0,76 | 0,61 | 0,66 | 0,52 | 0,69 | 0,75 | 0,66 |
| Alteração do U das paredes exteriores ($U=0,474 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) | 0,41 | 0,71 | 0,07 | 0,71 | 0,73 | 0,57 | 0,63 | 0,49 | 0,66 | 0,71 | 0,62 |
| Alteração envidraçados, alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$), colocação de pala horizontal com um ângulo de 40° e pala vertical com ângulo de 45°, reduzir a oeste e este para metade a área dos envidraçados e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de 2h^{-1} | 0,67 | | | | | | | | | | |
| Alteração envidraçados, alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$), colocação de pala horizontal com um ângulo de 40° e palas verticais com ângulo de 45°, reduzir a oeste e este para metade a área dos envidraçados e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de $0,8\text{h}^{-1}$ | | 0,84 | | | | | | | | | |
| Sem envidraçados e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de 14h^{-1} | | | 0,46 | | | | | | | | |
| Alteração envidraçados, alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$), colocação de pala horizontal com um ângulo de 40° e palas verticais com ângulo de 45°, reduzir a oeste e este para metade a área dos envidraçados | | | | | 0,84 | | | | | | |
| Alteração envidraçados, alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$), colocação de pala horizontal com um ângulo de 40° e palas verticais com ângulo de 45°, reduzir a oeste e este para metade a área dos envidraçados e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de 1h^{-1} | | | | | | | 0,79 | | 0,81 | | 0,79 |
| Alteração envidraçados, alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$), colocação de pala horizontal com um ângulo de 40° e palas verticais com ângulo de 45°, reduzir a oeste e este para metade a área dos envidraçados e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de $1,5\text{h}^{-1}$ | | | | | | | | 0,71 | | | |
| Alteração envidraçados, alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$), colocação de pala horizontal com um ângulo de 40° e palas verticais com ângulo de 45°, reduzir a oeste e este para metade a área dos envidraçados e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de $1,1\text{h}^{-1}$ | | | | | | 0,76 | | | | | |
| Alteração envidraçados, alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$), colocação de pala horizontal com um ângulo de 50° e palas verticais com ângulo de 45°, reduzir a oeste e este para metade a área dos envidraçados | | | | 0,83 | | | | | | 0,83 | |
| Edifício 1961-1990 | | | | | | | | | | | |
| Alteração da orientação do edifício | 0,52 | 0,81 | 0,09 | 0,82 | 0,83 | 0,69 | 0,74 | 0,61 | 0,77 | 0,82 | 0,74 |
| Colocação de palas verticais à esquerda e à direita com um ângulo de 45° | 0,53 | 0,82 | 0,1 | 0,82 | 0,84 | 0,7 | 0,75 | 0,62 | 0,78 | 0,82 | 0,75 |
| Colocação de pala horizontal com um ângulo de 40° | 0,55 | 0,83 | 0,1 | 0,84 | 0,85 | 0,72 | 0,77 | 0,64 | 0,8 | 0,84 | 0,77 |
| Alteração do pavimento ($U=0376 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) | 0,47 | 0,78 | 0,08 | 0,78 | 0,8 | 0,65 | 0,7 | 0,56 | 0,73 | 0,78 | 0,7 |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$ | 0,59 | 0,86 | 0,11 | 0,86 | 0,87 | 0,75 | 0,8 | 0,68 | 0,82 | 0,86 | 0,8 |
| Alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) | 0,55 | 0,83 | 0,1 | 0,84 | 0,85 | 0,72 | 0,77 | 0,64 | 0,79 | 0,84 | 0,77 |
| Alteração do U das paredes exteriores ($U=0,474 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) | 0,5 | 0,8 | 0,09 | 0,8 | 0,82 | 0,67 | 0,73 | 0,59 | 0,75 | 0,8 | 0,72 |
| Alteração envidraçados, alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) e colocação de pala horizontal com um ângulo de 40° | 0,67 | | | | | | | | | | |
| Sem envidraçados e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de 28h^{-1} | | | 0,46 | | | | | | | | |
| Alteração dos envidraçados e do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) | | | | | | 0,81 | | 0,73 | | | |

Capítulo 6

CONCLUSÕES

6.1 Aspetos Gerais e Conclusões

O objetivo principal deste estudo consistiu em avaliar a influência das características dos vários elementos construtivos da envolvente de um edifício consoante a zona climática onde se localiza, na quantificação das necessidades energéticas de arrefecimento e na necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento para assegurar o conforto térmico no verão.

Utilizou-se a metodologia de cálculo do atual Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), analisando as necessidades energéticas de arrefecimento de três edifícios distintos, com soluções construtivas distintas e nas 9 zonas climáticas de Portugal.

Foi possível concluir que a adoção ou não de certas estratégias no edifício influencia significativamente o desempenho do mesmo.

Um dos parâmetros que tem bastante preponderância nas necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento é a inércia térmica do edifício, na medida em que um edifício

com inércia térmica forte tem menos necessidades energéticas de arrefecimento quando comparado com um edifício com uma inércia média ou fraca.

Comparando os valores obtidos nos três distintos edifícios analisados neste estudo, verifica-se que o isolamento, o sombreamento e o tipo de envidraçados escolhidos vão influenciar as necessidades energéticas de arrefecimento consoante as respetivas zonas climáticas.

Pode-se também depreender pelos resultados obtidos que a cidade que mais exigência tem ao nível das necessidades energéticas de arrefecimento é a cidade de Beja, situada na zona climática IIV3, não conseguindo eliminar as necessidades de utilização de sistemas ativos de arrefecimento com as alterações nos elementos da solução construtiva.

Verifica-se que um edifício com uma envolvente exterior mais isolada e com uma inércia forte, apresenta na maior parte das zonas climáticas maior facilidade em eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento. Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Quanto mais elevado for o valor do coeficiente de transmissão térmica nas paredes exteriores, menores são as necessidades energéticas de arrefecimento. No entanto, de um modo geral, esta alteração faz aumentar as necessidades energéticas de aquecimento mais do que baixa as necessidades energéticas de arrefecimento. Assim, esta estratégia deverá ser utilizada com bastante ponderação.
- Relativamente à alteração da solução construtiva da cobertura e ao aumento do isolamento da mesma, pode-se concluir que quanto mais isolada estiver, mais o fator de utilização de ganhos aumenta e consequentemente menor é a energia primária de arrefecimento. Pode-se concluir que sendo a cobertura no verão a que mais radiação solar recebe, quanto mais isolada estiver menos necessidades energéticas vai carecer o edifício. Esta alteração é de todas, aquela que na maior parte das zonas consegue suprimir as necessidades de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. Importa aqui referir que é uma alteração que consegue reduzir as necessidades energéticas de aquecimento, tornando-se assim uma das intervenções com mais impacto nos edifícios.
- À medida que se aumenta a dimensão e o ângulo de sombreamento das palas verticais e horizontais do edifício, vai-se diminuindo os ganhos solares brutos pelos envidraçados e naturalmente aumenta-se o fator de utilização de ganhos. Esta é uma alteração significativa pois tem um grande impacto nas necessidades energéticas de arrefecimento. Contudo é necessário perceber a importância do dimensionamento das

palas, pois se estas são demasiado grandes os ganhos solares serão restringidos não só no verão, mas também no inverno, fazendo assim subir as necessidades energéticas de aquecimento. Neste sentido os dispositivos móveis serão os mais adequados, de forma a conseguirem ser alterados conforme a estação do ano.

- No caso da colocação de palas verticais e horizontais em edifícios que não apresentam nenhum dispositivo de sombreamento, são extremamente importantes em especial as palas horizontais, pois conseguem reduzir significativamente as necessidades energéticas de arrefecimento.
- Outra alteração importante é a diminuição do isolamento no pavimento e consequentemente o aumento do coeficiente de transmissão térmica desse elemento construtivo, que permite aumentar ligeiramente o fator de utilização de ganhos. Assim, quanto menor o isolamento no pavimento, menores são as necessidades energéticas de arrefecimento nos edifícios. Contudo, esta intervenção leva a um aumento das necessidades energéticas de aquecimento, tal como ocorre com as paredes exteriores.
- Relativamente aos envidraçados, estes assumem especial importância pois o facto de alterar o fator solar do vidro para uma incidência solar menor e colocar dispositivos de proteção solar mais eficazes, reduz significativamente as necessidades energéticas de arrefecimento do edifício. Assim como, nos dois edifícios estudados já existentes, a alteração para um vidro duplo faz com que seja reduzida a necessidades de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. A variação da área dos envidraçados também toma aqui um papel relevante pois quanto menor for essa área, menor serão os ganhos solares brutos pelos envidraçados e maior é o fator de utilização de ganhos. Importa aqui referenciar que da energia consumida em aquecimento e arrefecimento de edifícios, muita é perdida através dos envidraçados pouco eficientes, daí a importância de restringir os ganhos e perdas solares pelos envidraçados. Contudo quando existe a melhoria do fator solar dos envidraçados, a redução das necessidades energéticas de arrefecimento é acompanhada de um aumento significativo das necessidades energéticas de aquecimento.
- A orientação do edifício tem um papel importante, pois um edifício bem orientado pode contribuir para a redução das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. Durante a estação de verão existe uma maior preponderância de exposição solar a este e a oeste, sendo por isso necessário reduzir a área dos envidraçados ou orientar o edifício para que nessas duas orientações a radiação esteja

controlada.

- Como referência, verificou-se que um coeficiente de transmissão térmica reduzido (de $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) na cobertura e envidraçados termicamente eficientes com um fator solar de 0,44, conduz sempre a uma diminuição muito significativa das necessidades energéticas de arrefecimento e aquecimento e em diversas zonas climáticas (Portimão, Beja, Tomar, Vila Real e Lisboa) suprimir as necessidades de utilização de sistemas ativos de arrefecimento.
- Relativamente às medidas que permitem reduzir ou eliminar as necessidades de utilização de sistemas ativos de arrefecimento sem que com isso aumente as necessidades energéticas de aquecimento, tem-se a alteração do coeficiente de transmissão térmica na cobertura. Esta alteração consegue em todos os edifícios estudados reduzir as necessidades energéticas de aquecimento e reduzir ou eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento. Importa referir que a alteração das palas verticais e/ou horizontais para um ângulo maior conduz a uma diminuição ou eliminação da necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento sem que aumente muito as necessidades energéticas de aquecimento.
- Quando alteramos os envidraçados dos edifícios para um $g_{L_{vi}}=0,52$ e um $g_{L_{Tp}}=0,44$ pode-se perceber que apesar de diminuir ou eliminar a necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento, as necessidades energéticas de aquecimento aumentam bastante. Nos casos em que o edifício já apresente necessidades energéticas de aquecimento elevadas, esta alteração não é vantajosa, pois este passa a ter mais necessidades energéticas de aquecimento. Assim esta alteração terá de ser ponderada consoante as necessidades energéticas do edifício.
- Quanto às diferentes zonas climáticas, é possível perceber que aquela em que é mais difícil eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento é a zona I1-V3, sendo nesse caso preciso alterações extremas que na prática não são exequíveis, pelo menos com recurso às medidas de utilização corrente que foram objeto de análise neste trabalho.
- Verificou-se também um aumento considerável do valor das necessidades energéticas de arrefecimento na passagem de uma zona I1-V1 ou I1-V2 para uma zona climática I1-V3.

É importante referir que algumas alterações testadas e estudadas se referem a situações exageradas e não praticáveis nas habitações, servem por isso unicamente para compreender o impacto que as mesmas teriam no edifício e na zona climática em questão. A título de exemplo, quando se coloca a taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento superior ao que está regulamentado, pretende-se simplesmente perceber o que teria de ser feito para que naquele edifício e naquela cidade, as necessidades energéticas de arrefecimento fossem eliminadas.

Note-se também que as alterações à solução construtiva de cada elemento do edifício são diferentes para o edifício novo ou edifícios já existentes. No primeiro caso está-se perante um edifício que termicamente está devidamente isolado e as alterações vão ao encontro de retirar algum desse isolamento na envolvente do edifício para que haja um equilíbrio maior entre as perdas de calor e os ganhos. Já nos edifícios existentes o mesmo não acontece, pois, os edifícios ou não têm na sua constituição inicial isolamento ou então o que têm é pouco. Nestes casos o que foi estudado foi reduzir o coeficiente de transmissão térmica nos elementos construtivos em relação à inicial. Estas alterações não têm um impacto positivo nas necessidades energéticas de arrefecimento, com exceção da cobertura. Para além do isolamento da cobertura, nestes edifícios existentes justifica-se melhorar os envidraçados e a colocação de palas verticais e/ou horizontais, ou seja, restringir os ganhos solares na estação de arrefecimento.

Será importante referir também que os resultados apresentados se basearam do REH de 2013, visto que em 2016 sofreu nova revisão. As alterações introduzidas por esta versão têm implicações no cálculo do fator de utilização de ganhos, verificando-se que em algumas das zonas climáticas se deixa de precisar da necessidade de utilização de sistemas ativos de arrefecimento logo com a solução inicial. De uma maneira geral, em todas as zonas climáticas, o fator de utilização de ganhos aumenta. Com a nova revisão passa a ser mais fácil eliminar as necessidades de arrefecimento nos edifícios do que com a metodologia de cálculo utilizada na presente dissertação.

Para concluir é necessário que seja sempre tomado em atenção na conceção de um edifício qual a melhor estratégia construtiva e a zona climática em que o mesmo estará inserido. É indispensável perceber que a quantificação das necessidades de arrefecimento resulta de um balanço energético, onde é tido em consideração os ganhos e as perdas térmicas.

Assim está-se a construir edifícios com capacidade de eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento, e com isto reduzir as emissões de gases com efeito de estufa provenientes do arrefecimento mecânico.

6.2 Perspetivas futuras

O estudo de estratégias construtivas passivas para a conceção de edifícios residenciais não dependentes de sistemas ativos de arrefecimento é um trabalho contínuo e que permite desenvolvimentos no futuro. Apresentam-se algumas propostas para trabalhos futuros:

- O presente trabalho realizou-se conforme o regulamento em vigor aquando da realização da dissertação, contudo com a nova revisão estes resultados poderão sofrer alterações. Neste sentido seria interessante rever e analisar os novos valores das necessidades energéticas de arrefecimento.
- Nas cidades onde só com alterações extremas ou com alterações que na prática não são executáveis se consegue eliminar os sistemas ativos de arrefecimento no edifício, também aqui é necessário verificar se outras intervenções ao nível das fontes renováveis conseguem eliminar as necessidades energéticas de arrefecimento.
- Com as metas traçadas pela União Europeia para 2020 os edifícios terão de ser auto-sustentáveis a nível energético, assim este poderá ser um trabalho futuro de forma a serem analisadas as diferentes zonas climáticas.

Referências bibliográficas

FREITAS, Filipe Robalinho – Estudo de Sensibilidade dos Parâmetros que Influenciam a Quantificação das Necessidades de Arrefecimento: Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. 2008. Dissertação de Mestrado

GONÇALVES, Hélder & GRAÇA, João Mariz (2004) Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. DGGE / IP-3E

KAMAL, Mohammad Arif – “ An Overview of Passive Cooling Techniques in Buildings: Design Concepts and Architectural Interventions”, 2012. *Acta Tech. Napocensis: Civil Eng. & Arch.*, Vol. 55, Number 1, Published online 19.09.2012

PALHINHA, Milena – Sistemas de Sombreamento em Arquitetura: Proposta de um Novo Método de Conceção e Dimensionamento: Lisboa: Universidade técnica de Lisboa. 2009. Dissertação de mestrado

PANÃO, Marta – “Revisiting Cooling Energy Requirements of Residential Buildings in Portugal in Light of Climate Change”, 2014. Elsevier

PINA DOS SANTOS, Carlos & Matias, Luís (2006) Coeficiente de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. LNEC

SILVA, Sandra & ALMEIDA, Manuela – “Avaliação do Impacto Energético e Económico de Diferentes Soluções Construtivas”, 2003. Universidade do Minho. Departamento de Engenharia Civil - <http://hdl.handle.net/1822/2551>

SOUSA, Joana & SILVA, Sandra & ALMEIDA, Manuela – “Enquadramento Energético do Sector Residencial Português”, 2012. Universidade do Minho - <http://hdl.handle.net/1822/21508>

VERDELHO, Sara – Avaliação do Potencial de Arrefecimento de Edifícios Através da Ventilação Natural: Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2008. Dissertação de Mestrado

VIEGAS, João Carlos (2010) Ventilação Natural de Edifícios de Habitação. LNEC

Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) - (decreto-lei n.º 118/2013 de 20 de agosto)

[1] <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab082771.pdf> [Acedido em 10 de Novembro de 2015]

[2] <http://www.edificioseenergia.pt/media/53562/tcapa%201.pdf> [Acedido em 10 de Novembro de 2015]

[3] <http://www.quercus.pt/estudos-grupo-energia-alteracoes-climaticas> [Acedido em 13 Novembro de 2015]

[4] <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2013/04/07000/0202202091.pdf> [Acedido em 15 de Dezembro de 2015]

[5] <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21508/2/SREE-JS-SMS-MA2.pdf> [Acedido em 15 de Dezembro de 2015]

[6] http://www.apren.pt/fotos/newsletter/conteudos/energiapt_2013_dgeg_1433429705.pdf [Acedido em 15 de Dezembro de 2015]

[7] <http://www.tvi24.iol.pt/sociedade/temperaturas/temperatura-global-pode-subir-4-3-graus-ate-final-do-seculo> [Acedido em 10 Janeiro de 2016]

- [8] https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj2pD8y6XOAhUH7BQKHUGkDfYQFggbMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.ine.pt%2Fngt_server%2Fattachfileu.jsp%3Flook_parentBoui%3D127228533%26att_display%3Dn%26att_download%3Dy&usg=AFQjCNEoLxVShyh7XeKIZDh6cJIsdpMQBw&sig2=XJaJi-7KeL-LrRv5TurWEg [Acedido em 10 Janeiro de 2016]
- [9] http://www.adene.pt/sites/default/files/guiaee_v1310.pdf [Acedido em 13 Janeiro de 2016]
- [10] <http://ambiente.maiadigital.pt/ambiente/energia/mais-informacao-1/sobre-as-questoes-energeticas> [Acedido em 15 Janeiro de 2016]
- [11] <http://observador.pt/2015/06/16/temperatura-pode-aumentar-43-graus-ate-fim-do-seculo/> [Acedido em 15 Janeiro de 2016]
- [12] <http://climaticas.blogs.sapo.pt/edificios-vao-consumir-mais-energia-50544> [Acedido em 15 de Janeiro de 2016]
- [13] <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=118&sub3ref=393> [Acedido em 15 Janeiro de 2016]
- [14] http://eficiencia-energetica.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=92&ID_area=2&ID_sub_area=2 [Acedido em 15 Janeiro de 2016]
- [15] <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/night-purge-ventilation> [Acedido em 26 de Janeiro de 2016]
- [116] http://www.slideshare.net/anvitajain3/passive-techniques?next_slideshow=1 [Acedido em 26 de Janeiro de 2016]
- [17] http://www.builditsolar.com/Projects/Cooling/passive_cooling.htm [Acedido em 26 de Janeiro de 2016]
- [18] <http://www.lneg.pt/download/5656/Reabilita%20E7%E3o%20de%20edif%EDciospara%20pro%20mo%20E7%E3o%20do%20confortoe%20da%20efici%EAncia%20energ%E9tica%20-pina%20santos.pdf> [Acedido em 07 Maio de 2016]

Tabela Anexos 1: Tabela de altitudes

| Cidade | Altitude (m) |
|-----------------|--------------|
| Portimão | 145 |
| Coimbra | 67 |
| Beja | 178 |
| Póvoa de Varzim | 94 |
| Braga | 171 |
| Tomar | 168 |
| Guarda | 717 |
| Vila Real | 579 |
| Mirandela | 680 |
| Porto | 94 |
| Lisboa | 109 |

[illegible]

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Solução inicial | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,46 | 0,83/0,82 | 0,45/0,07 | 0,84/0,84 | 0,75/0,66 | 0,80/0,76 | 0,70/0,56 | 0,83/0,83 | 0,78/0,73 | 0,83/0,83 | 0,78/0,72 |
| | Energia de aquecimento | 59,82 | 107,75 | 84,51 | 140,39 | 117,03 | 225,79 | 180,71 | 105,91 | 197,62 | 105,91 | 81,62 |
| | Energia de arrefecimento | 17,65 | 5,82 | 30,32 | 0,00 | 10,93 | 7,52 | 14,14 | 5,58 | 8,88 | 5,58 | 8,99 |
| Alteração do U das paredes exteriores (U=0,384 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,47 | 0,83/0,83 | 0,45/0,08 | 0,84/0,85 | 0,75/0,67 | 0,80/0,77 | 0,70/0,57 | 0,83/0,83 | 0,78/0,74 | 0,83/0,83 | 0,78/0,73 |
| | Energia de aquecimento | 83,57 | 119,77 | 94,23 | 154,6 | 129,5 | 245,57 | 197,8 | 117,51 | 216,27 | 117,51 | 91,24 |
| | Energia de arrefecimento | 18,11 | 5,73 | 31,21 | 0,00 | 10,93 | 7,45 | 14,25 | 0,00 | 8,83 | 0,00 | 8,94 |
| Alteração do U das paredes exteriores (U=0,474 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,47 | 0,83/0,83 | 0,45/0,08 | 0,84/0,86 | 0,75/0,68 | 0,80/0,78 | 0,70/0,57 | 0,83/0,84 | 0,78/0,74 | 0,83/0,84 | 0,78/0,74 |
| | Energia de aquecimento | 87,73 | 125,4 | 98,79 | 161,24 | 135,34 | 254,78 | 205,77 | 122,95 | 224,96 | 122,95 | 95,77 |
| | Energia de arrefecimento | 18,23 | 0,00 | 31,63 | 0,00 | 10,93 | 7,42 | 14,3 | 0,00 | 8,81 | 0,00 | 8,92 |
| Alteração do U da cobertura (U=0,200 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,47 | 0,83/0,83 | 0,45/0,08 | 0,84/0,85 | 0,75/0,67 | 0,80/0,77 | 0,70/0,57 | 0,83/0,83 | 0,78/0,73 | 0,83/0,83 | 0,78/0,73 |
| | Energia de aquecimento | 68,49 | 99,25 | 77,66 | 130,29 | 108,19 | 211,64 | 168,52 | 97,7 | 184,32 | 97,7 | 74,85 |
| | Energia de arrefecimento | 16,61 | 5,31 | 28,58 | 0,00 | 10,77 | 6,92 | 13,15 | 0,00 | 8,17 | 0,00 | 8,24 |
| Alteração do U da cobertura (U=0,160 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,47 | 0,83/0,83 | 0,45/0,08 | 0,84/0,85 | 0,75/0,68 | 0,80/0,77 | 0,70/0,57 | 0,83/0,84 | 0,78/0,74 | 0,83/0,84 | 0,78/0,74 |
| | Energia de aquecimento | 64,99 | 94,45 | 73,8 | 124,56 | 103,18 | 203,58 | 161,59 | 93,05 | 176,75 | 93,05 | 71,03 |
| | Energia de arrefecimento | 15,9 | 0,00 | 27,59 | 0,00 | 9,58 | 6,57 | 12,58 | 0,00 | 7,76 | 0,00 | 7,82 |
| Alteração do U das paredes interiores (U=0,85 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,47 | 0,83/0,83 | 0,45/0,08 | 0,84/0,85 | 0,75/0,68 | 0,80/0,77 | 0,70/0,57 | 0,83/0,84 | 0,78/0,74 | 0,83/0,84 | 0,78/0,74 |
| | Energia de aquecimento | 79,26 | 113,92 | 89,5 | 147,7 | 123,44 | 235,98 | 189,51 | 111,87 | 207,22 | 111,87 | 86,56 |
| | Energia de arrefecimento | 17,47 | 0,00 | 30,25 | 0,00 | 10,5 | 7,15 | 13,73 | 0,00 | 8,47 | 0,00 | 8,58 |
| Alteração do envidraçados para um gLTP=0,6375, gLvi=0,75 e gLTP=0,023 | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,47 | 0,83/0,83 | 0,45/0,08 | 0,84/0,85 | 0,75/0,67 | 0,80/0,77 | 0,70/0,57 | 0,83/0,83 | 0,78/0,74 | 0,83/0,83 | 0,78/0,73 |
| | Energia de aquecimento | 78,27 | 112,19 | 88,32 | 144,98 | 121,5 | 231,09 | 185,94 | 110,03 | 203,31 | 110,03 | 85,43 |
| | Energia de arrefecimento | 17,23 | 5,46 | 29,68 | 0 | 10,41 | 7,1 | 13,56 | 0,00 | 8,41 | 0,00 | 8,52 |
| Alteração do envidraçados para um gLvi=0,52 e para um gLTP=0,44 | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,52 | 0,83/0,87 | 0,45/0,09 | 0,84/0,89 | 0,75/0,73 | 0,80/0,82 | 0,70/0,62 | 0,83/0,87 | 0,78/0,78 | 0,83/0,87 | 0,78/0,78 |
| | Energia de aquecimento | 98,43 | 136,95 | 109,73 | 169,99 | 146,13 | 259,29 | 214,1 | 132,85 | 233,94 | 132,85 | 107,02 |
| | Energia de arrefecimento | 14,04 | 0,00 | 26,36 | 0,00 | 7,85 | 0,00 | 10,68 | 0,00 | 0 | 0,00 | 6,24 |
| Alteração do pavimento (R=1,72 m2. °C/W) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,47 | 0,83/0,83 | 0,45/0,08 | 0,84/0,85 | 0,75/0,67 | 0,80/0,77 | 0,70/0,57 | 0,83/0,83 | 0,78/0,73 | 0,83/0,83 | 0,78/0,73 |
| | Energia de aquecimento | 77,79 | 111,93 | 87,89 | 145,34 | 121,37 | 232,7 | 186,67 | 109,94 | 204,13 | 109,94 | 84,96 |
| | Energia de arrefecimento | 17,59 | 5,59 | 30,00 | 0,00 | 10,64 | 7,27 | 13,86 | 0,00 | 8,6 | 0,00 | 8,71 |
| Alteração do pavimento (R=1,72 m2. °C/W) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,48 | 0,83/0,83 | 0,45/0,08 | 0,84/0,86 | 0,75/0,68 | 0,80/0,78 | 0,70/0,58 | 0,83/0,84 | 0,78/0,74 | 0,83/0,84 | 0,78/0,74 |
| | Energia de aquecimento | 81,07 | 116,38 | 91,49 | 150,6 | 125,99 | 240,02 | 193 | 114,24 | 211,03 | 114,24 | 88,53 |
| | Energia de arrefecimento | 17,32 | 0,00 | 30,22 | 0,00 | 10,34 | 7,00 | 13,56 | 0,00 | 8,32 | 0,00 | 8,42 |
| Alteração da orientação do edifício | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,45 | 0,83/0,81 | 0,45/0,07 | 0,84/0,84 | 0,75/0,65 | 0,80/0,76 | 0,70/0,55 | 0,83/0,82 | 0,78/0,72 | 0,83/0,82 | 0,78/0,72 |
| | Energia de aquecimento | 74,72 | 107,75 | 84,51 | 140,39 | 117,03 | 225,79 | 180,71 | 105,91 | 197,62 | 105,91 | 81,62 |
| | Energia de arrefecimento | 18,5 | 6,18 | 30,97 | 5,26 | 11,44 | 7,91 | 14,67 | 9,31 | 9,31 | 5,91 | 9,47 |
| Alteração da pala vertical à direita e à esquerda para um ângulo de 65° | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,49 | 0,83/0,85 | 0,45/0,08 | 0,84/0,87 | 0,75/0,70 | 0,80/0,79 | 0,70/0,59 | 0,83/0,85 | 0,78/0,76 | 0,83/0,85 | 0,78/0,75 |
| | Energia de aquecimento | 76,79 | 110,35 | 86,74 | 143,08 | 119,64 | 228,9 | 183,78 | 108,32 | 200,96 | 108,32 | 83,85 |
| | Energia de arrefecimento | 15,83 | 0,00 | 28,22 | 0,00 | 9,25 | 6,18 | 12,27 | 0,00 | 7,37 | 0,00 | 7,48 |
| Alteração pala horizontal para um ângulo de 36° | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,47 | 0,83/0,83 | 0,45/0,08 | 0,84/0,85 | 0,75/0,67 | 0,80/0,77 | 0,70/0,57 | 0,83/0,83 | 0,78/0,73 | 0,83/0,83 | 0,78/0,73 |
| | Energia de aquecimento | 76,79 | 110,35 | 86,74 | 143,08 | 119,64 | 228,9 | 183,78 | 108,32 | 200,96 | 108,32 | 83,85 |
| | Energia de arrefecimento | 17,32 | 5,51 | 29,77 | 0,00 | 10,48 | 7,16 | 13,64 | 0,00 | 8,48 | 0,00 | 8,59 |
| Alteração pala horizontal para um ângulo de 40° | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,47 | 0,83/0,83 | 0,45/0,08 | 0,84/0,86 | 0,75/0,68 | 0,80/0,78 | 0,70/0,57 | 0,83/0,84 | 0,78/0,74 | 0,83/0,84 | 0,78/0,74 |
| | Energia de aquecimento | 76,79 | 110,35 | 86,74 | 143,08 | 119,64 | 228,9 | 183,78 | 108,32 | 200,96 | 108,32 | 83,85 |
| | Energia de arrefecimento | 16,77 | 0,00 | 29,2 | 0,00 | 10,03 | 6,8 | 13,14 | 0,00 | 8,07 | 0,00 | 8,18 |
| Alteração do envidraçados para um gLvi=0,52 e para um gLTP=0,44 e alteração do U da cobertura (U=0,160 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,54 | | 0,45/0,09 | | 0,75/0,74 | | 0,70/0,64 | | | | 0,78/0,80 |
| | Energia de aquecimento | 87,79 | | 98,14 | | 131,51 | | 194,45 | | | | 95,47 |
| | Energia de arrefecimento | 12,12 | | 23,64 | | 6,59 | | 9,18 | | | | 0,00 |
| Alteração do envidraçados para um gLvi=0,52 e para um gLTP=0,44, alteração do U da cobertura (U=0,160 W/(m².°C)) e Alteração do U das paredes exteriores (U=0,474 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | | | | | 0,75/0,76 | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | | | | | 150,49 | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | | | | | 0,00 | | | | | | |
| Alteração do envidraçados para um gLvi=0,52 e para um gLTP=0,44,Alteração do U da cobertura (U=0,160 W/(m².°C)), Alteração do U das paredes exteriores (U=0,474 W/(m².°C)), pala vertical para um ângulo de 45°, Alteração do pavimento (R=1,72 m2. °C/W) e Alteração do U das paredes interiores (U=0,85 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,60 | | | | | | 0,70/0,71 | | | | |
| | Energia de aquecimento | 115,03 | | | | | | 243,69 | | | | |
| | Energia de arrefecimento | 10,34 | | | | | | 0,00 | | | | |
| Alteração do envidraçados para um gLvi=0,52 e para um gLTP=0,44, Alteração do U da cobertura (U=0,160 W/(m².°C)), Alteração do U das paredes exteriores (U=0,474 W/(m².°C)), pala vertical com ângulo de 45°e pala horizontal com ângulo de 40°, Alteração do pavimento (R=1,72 m2. °C/W) e Alteração do U das paredes interiores (U=0,85 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,62 | | | | | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | 115,03 | | | | | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | 9,75 | | | | | | | | | | |
| Envidraçados, cobertura, paredes exteriores (0,474), pala vertical e horizontal, pavimento, paredes interiores e taxa de arrefecimento de 1h¹ | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | 0,66/0,67 | | 0,45/0,12 | | | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | 115,03 | | 127,73 | | | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | 0,00 | | 22,32 | | | | | | | | |
| Sem envidraçados e com uma taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento de 10h¹ | Fator de utilização de ganhos nvref/nv | | | 0,45/0,48 | | | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | | | 154,89 | | | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | | | 0,00 | | | | | | | | |

Tabela Anexos 3:1991-2012

| | | Portimão | Coimbra | Beja | Braga | Tomar | Mirandela | Vila Real | Póvoa de Varzim | Guarda | Porto | Lisboa |
|--|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| | Necessita de energia de arrefecimento | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Solução inicial | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | 0,66/0,43 | 0,83/0,73 | 0,45/0,07 | 0,84/0,75 | 0,75/0,60 | 0,80/0,68 | 0,70/0,51 | 0,83/0,74 | 0,78/0,65 | 0,83/0,74 | 0,78/0,65 |
| | Energia de aquecimento | 99,67 | 139,53 | 111,04 | 174,51 | 148,54 | 267,78 | 219,35 | 136,02 | 239,71 | 136,02 | 108,62 |
| | Energia de arrefecimento | 21,5 | 9,96 | 34,91 | 9,04 | 14,9 | 11,68 | 17,96 | 9,74 | 12,92 | 9,74 | 13,07 |
| Alteração do U das paredes exteriores (U=0,682 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | 0,66/0,41 | 0,83/0,71 | 0,45/0,07 | 0,84/0,73 | 0,75/0,57 | 0,80/0,66 | 0,70/0,49 | 0,83/0,71 | 0,78/0,63 | 0,83/0,71 | 0,78/0,62 |
| | Energia de aquecimento | 54,95 | 105,42 | 83,48 | 134,01 | 113,1 | 210,63 | 170,36 | 103,08 | 186,24 | 103,08 | 81,3 |
| | Energia de arrefecimento | 20,67 | 10,03 | 32,38 | 9,14 | 14,67 | 11,66 | 17,45 | 9,81 | 12,82 | 9,81 | 12,98 |
| Alteração do U da cobertura (U=0,27 W/(m².°C)) | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | 0,66/0,44 | 0,83/0,74 | 0,45/0,08 | 0,84/0,76 | 0,75/0,61 | 0,80/0,69 | 0,70/0,52 | 0,83/0,75 | 0,78/0,66 | 0,83/0,75 | 0,78/0,66 |
| | Energia de aquecimento | 82,55 | 116,31 | 92,27 | 147 | 124,44 | 229,06 | 186,12 | 113,6 | 203,44 | 113,6 | 90 |
| | Energia de arrefecimento | 18,46 | 8,44 | 30,57 | 7,71 | 12,71 | 10,02 | 15,51 | 8,31 | 11,03 | 8,31 | 11,1 |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$ | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | 0,66/0,48 | 0,83/0,78 | 0,45/0,09 | 0,84/0,80 | 0,75/0,65 | 0,80/0,73 | 0,70/0,57 | 0,83/0,78 | 0,78/0,70 | 0,83/0,78 | 0,78/0,70 |
| | Energia de aquecimento | 118,68 | 163,04 | 131,3 | 198,64 | 172,1 | 295,86 | 246,91 | 157,74 | 269,7 | 157,74 | 128,99 |
| | Energia de arrefecimento | 17,23 | 7,26 | 30,27 | 6,54 | 11,38 | 8,68 | 14,07 | 7,09 | 9,69 | 7,09 | 9,81 |
| Alteração do U do pavimento (U=0,356 m2. °C/W) | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | 0,66/0,42 | 0,83/0,72 | 0,45/0,07 | 0,84/0,74 | 0,75/0,59 | 0,80/0,67 | 0,70/0,50 | 0,83/0,72 | 0,78/0,64 | 0,83/0,72 | 0,78/0,64 |
| | Energia de aquecimento | 92,35 | 129,63 | 103,03 | 162,81 | 138,27 | 251,35 | 205,23 | 126,46 | 224,3 | 126,46 | 100,66 |
| | Energia de arrefecimento | 22,04 | 10,5 | 35,03 | 9,55 | 15,49 | 12,25 | 18,53 | 10,27 | 13,5 | 10,27 | 13,66 |
| Alteração da orientação do edifício | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | 0,66/0,44 | 0,83/0,74 | 0,45/0,08 | 0,84/0,76 | 0,75/0,61 | 0,80/0,69 | 0,70/0,52 | 0,83/0,75 | 0,78/0,66 | 0,83/0,75 | 0,78/0,66 |
| | Energia de aquecimento | 100,41 | 140,45 | 111,84 | 175,48 | 149,48 | 268,92 | 220,46 | 136,87 | 240,92 | 136,87 | 109,41 |
| | Energia de arrefecimento | 21,08 | 9,53 | 34,34 | 8,48 | 14,38 | 11,03 | 17,2 | 9,18 | 12,41 | 9,18 | 12,66 |
| Colocação da pala Horizontal com um ângulo de 40° | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | 0,66/0,47 | 0,83/0,76 | 0,45/0,08 | 0,84/0,78 | 0,75/0,64 | 0,80/0,71 | 0,70/0,55 | 0,83/0,77 | 0,78/0,69 | 0,83/0,77 | 0,78/0,68 |
| | Energia de aquecimento | 110,29 | 152,73 | 122,39 | 188,15 | 161,8 | 283,78 | 234,98 | 148,24 | 256,72 | 148,24 | 120,01 |
| | Energia de arrefecimento | 18,56 | 8,07 | 31,73 | 7,28 | 12,44 | 9,58 | 15,25 | 7,87 | 10,65 | 7,87 | 10,81 |
| Colocação de palas Verticais com um ângulo de 45° | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | 0,66/0,44 | 0,83/0,74 | 0,45/0,08 | 0,84/0,76 | 0,75/0,61 | 0,80/0,69 | 0,70/0,52 | 0,83/0,74 | 0,78/0,66 | 0,83/0,74 | 0,78/0,66 |
| | Energia de aquecimento | 105,73 | 147,08 | 117,52 | 182,34 | 156,14 | 277 | 228,35 | 143,01 | 249,5 | 143,01 | 115,11 |
| | Energia de arrefecimento | 20,96 | 9,59 | 34,34 | 8,69 | 14,43 | 11,27 | 17,44 | 9,37 | 12,48 | 9,37 | 12,64 |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$, alteração U da cobertura (U=0,27 W/(m².°C)), pala horizontal com um ângulo de 40° e pala vertical com um ângulo de 45° | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | | | | | 0,75/0,70 | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | | | | | 156,35 | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | | | | | 7,73 | | | | | | |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$, alteração do U da cobertura (U=0,27 W/(m².°C)), pala horizontal com um ângulo de 40°, pala vertical com um ângulo de 45°, reduzir os envidraçados a este e oeste a metade e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento 2h-1 | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | 0,66/0,67 | | | | | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | 113,01 | | | | | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | 0,00 | | | | | | | | | | |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$, alteração do U da cobertura (U=0,27 W/(m².°C)), pala horizontal com um ângulo de 40°, pala vertical com um ângulo de 45°, reduzir os envidraçados a este e oeste a metade e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento 0,8h-1 | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | | 0,83/0,84 | | | | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | | 153,96 | | | | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | | 0,00 | | | | | | | | | |
| Sem envidraçados e taxa nominal de renovação do ar interior na estação arrefecimento Rph=14h-1 | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | | | 0,45/0,46 | | | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | | | 155,29 | | | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | | | 0,00 | | | | | | | | |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$, alteração do U da cobertura (U=0,27 W/(m².°C)), pala horizontal com um ângulo de 40°, pala vertical com um ângulo de 45° e reduzir os envidraçados a este e oeste a metade | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | | | | 0,84/0,84 | | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | | | | 181,66 | | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | | | | 0,00 | | | | | | | |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$, alteração do U da cobertura (U=0,27 W/(m².°C)), pala horizontal com um ângulo de 40°, pala vertical com um ângulo de 45°, reduzir os envidraçados a este e oeste a metade e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento 1h-1 | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | | | | | | 0,80/0,81 | | | 0,78/0,79 | | 0,78/0,79 |
| | Energia de aquecimento | | | | | | 274,25 | | | 251,63 | | 122,62 |
| | Energia de arrefecimento | | | | | | 0,00 | | | 0,00 | | 0,00 |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$, alteração do U da cobertura (U=0,27 W/(m².°C)), pala horizontal com um ângulo de 40°, pala vertical com um ângulo de 45°, reduzir os envidraçados a este e oeste a metade e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento 1,5h-1 | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | | | | | | | 0,70/0,71 | | | | |
| | Energia de aquecimento | | | | | | | 230,4 | | | | |
| | Energia de arrefecimento | | | | | | | 0,00 | | | | |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$, alteração do U da cobertura (U=0,27 W/(m².°C)), pala horizontal com um ângulo de 50°, pala vertical com um ângulo de 45° e reduzir os envidraçados a este e oeste a metade | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | | | | | | | | 0,83/0,83 | | 0,83/0,83 | |
| | Energia de aquecimento | | | | | | | | 151,59 | | 151,59 | |
| | Energia de arrefecimento | | | | | | | | 0,00 | | 0,00 | |
| Alteração do envidraçados para um $g_{Lvi}=0,52$ e para um $g_{LTP}=0,44$, alteração do U da cobertura (U=0,27 W/(m².°C)), pala horizontal com um ângulo de 40°, pala vertical com um ângulo de 45°, reduzir os envidraçados a este e oeste a metade e taxa nominal do ar interior na estação de arrefecimento 1,1h-1 | Fator de utilização de ganhos q_{vref}/q_v | | | | | 0,75/0,76 | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | | | | | 162,21 | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | | | | | 0,00 | | | | | | |

Tabela Anexos 4:1961-1990

| | | Portimão | Coimbra | Beja | Braga | Tomar | Mirandela | Vila Real | Póvoa de Varzim | Guarda | Porto | Lisboa |
|--|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| | Necessita de energia de arrefecimento | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Solução inicial | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | 0,66/0,53 | 0,83/0,82 | 0,45/0,10 | 0,84/0,84 | 0,75/0,70 | 0,80/0,78 | 0,70/0,62 | 0,83/0,82 | 0,78/0,75 | 0,83/0,82 | 0,78/0,74 |
| | Energia de aquecimento | 371,94 | 500,97 | 406,55 | 590,34 | 518,67 | 833,32 | 713,39 | 482,77 | 778,60 | 482,77 | 404,09 |
| | Energia de arrefecimento | 32,19 | 12,13 | 60,96 | 10,65 | 19,99 | 14,46 | 24,98 | 11,66 | 16,60 | 11,66 | 17,01 |
| Alteração do U das paredes exteriores ($U=0,682 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | 0,66/0,50 | 0,83/0,80 | 0,45/0,09 | 0,84/0,82 | 0,75/0,67 | 0,80/0,75 | 0,70/0,59 | 0,83/0,80 | 0,78/0,73 | 0,83/0,80 | 0,78/0,72 |
| | Energia de aquecimento | 292,67 | 396,00 | 320,67 | 469,96 | 411,44 | 670,13 | 570,73 | 382,09 | 623,00 | 382,09 | 318,07 |
| | Energia de arrefecimento | 30,34 | 11,99 | 54,84 | 10,54 | 19,34 | 14,15 | 23,79 | 11,50 | 16,17 | 11,50 | 16,61 |
| Alteração do U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | 0,66/0,55 | 0,83/0,83 | 0,45/0,10 | 0,84/0,85 | 0,75/0,72 | 0,80/0,79 | 0,70/0,64 | 0,83/0,84 | 0,78/0,77 | 0,83/0,84 | 0,78/0,77 |
| | Energia de aquecimento | 224,38 | 305,41 | 246,61 | 365,81 | 318,78 | 528,60 | 447,14 | 295,16 | 488,19 | 295,16 | 243,95 |
| | Energia de arrefecimento | 19,58 | 0,00 | 39,17 | 0,00 | 12,02 | 8,87 | 15,52 | 0,00 | 10,03 | 0,00 | 10,10 |
| Alteração do envidraçados para um $g_{\text{Lvi}}=0,52$ e para um $g_{\text{LTp}}=0,44$ | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | 0,66/0,59 | 0,83/0,86 | 0,45/0,11 | 0,84/0,87 | 0,75/0,75 | 0,80/0,82 | 0,70/0,68 | 0,83/0,86 | 0,78/0,80 | 0,83/0,86 | 0,78/0,80 |
| | Energia de aquecimento | 401,18 | 535,83 | 437,10 | 624,22 | 552,64 | 870,07 | 750,72 | 514,67 | 819,19 | 514,67 | 435,35 |
| | Energia de arrefecimento | 24,05 | 0,00 | 51,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 17,97 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Alteração do U do pavimento ($U=0,356 \text{ m}^2\cdot^{\circ}\text{C/W}$) | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | 0,66/0,47 | 0,83/0,78 | 0,45/0,08 | 0,84/0,80 | 0,75/0,65 | 0,80/0,73 | 0,70/0,56 | 0,83/0,78 | 0,78/0,70 | 0,83/0,78 | 0,78/0,70 |
| | Energia de aquecimento | 311,26 | 420,63 | 340,81 | 498,22 | 436,61 | 708,48 | 604,24 | 405,72 | 659,55 | 405,72 | 338,25 |
| | Energia de arrefecimento | 35,69 | 14,88 | 61,77 | 13,17 | 23,40 | 17,43 | 28,45 | 14,33 | 19,79 | 14,33 | 20,25 |
| Alteração da orientação do edifício | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | 0,66/0,52 | 0,83/0,81 | 0,45/0,09 | 0,84/0,83 | 0,75/0,69 | 0,80/0,77 | 0,70/0,61 | 0,83/0,82 | 0,78/0,74 | 0,83/0,82 | 0,78/0,74 |
| | Energia de aquecimento | 372,85 | 502,06 | 407,51 | 591,41 | 519,74 | 834,48 | 714,57 | 483,77 | 779,89 | 483,77 | 405,08 |
| | Energia de arrefecimento | 31,59 | 12,57 | 62,00 | 10,89 | 20,63 | 14,77 | 25,50 | 11,93 | 17,16 | 11,93 | 17,69 |
| Colocação da pala Horizontal com um ângulo de 40° | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | 0,66/0,55 | 0,83/0,83 | 0,45/0,10 | 0,84/0,85 | 0,75/0,72 | 0,80/0,80 | 0,70/0,64 | 0,83/0,84 | 0,78/0,77 | 0,83/0,84 | 0,78/0,77 |
| | Energia de aquecimento | 384,63 | 516,13 | 419,82 | 605,10 | 533,45 | 849,36 | 729,67 | 496,64 | 796,30 | 496,64 | 417,67 |
| | Energia de arrefecimento | 28,77 | 0,00 | 56,98 | 0,00 | 17,39 | 12,39 | 21,98 | 0,00 | 14,30 | 0,00 | 14,70 |
| Colocação de palas Verticais com um ângulo de 45° | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | 0,66/0,53 | 0,83/0,82 | 0,45/0,10 | 0,84/0,84 | 0,75/0,70 | 0,80/0,78 | 0,70/0,62 | 0,83/0,82 | 0,78/0,75 | 0,83/0,82 | 0,78/0,75 |
| | Energia de aquecimento | 379,30 | 509,76 | 410,88 | 598,91 | 527,25 | 842,64 | 722,84 | 490,82 | 788,88 | 490,82 | 411,96 |
| | Energia de arrefecimento | 31,59 | 11,79 | 60,26 | 10,34 | 19,52 | 14,07 | 24,43 | 11,33 | 16,17 | 11,33 | 16,59 |
| Alteração do envidraçados para um $g_{\text{Lvi}}=0,52$ e para um $g_{\text{LTp}}=0,44$ e alteração U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | 0,66/0,65 | | | | 0,75/0,81 | | 0,70/0,73 | | | | |
| | Energia de aquecimento | 252,14 | | | | 351,44 | | 483,49 | | | | |
| | Energia de arrefecimento | 11,88 | | | | 0,00 | | 0,00 | | | | |
| Alteração do envidraçados para um $g_{\text{Lvi}}=0,52$ e para um $g_{\text{LTp}}=0,44$, alteração U da cobertura ($U=0,27 \text{ W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$) e pala horizontal com um ângulo de 40° | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | 0,66/0,67 | | | | | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | 259,42 | | | | | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | 0,00 | | | | | | | | | | |
| Sem envidraçados e taxa nominal de renovação do ar interior na estação arrefecimento $R_{\text{ph},v}=28\text{h}^{-1}$ | Fator de utilização de ganhos $\eta_{\text{vref}}/\eta_{\text{v}}$ | | | 0,45/0,46 | | | | | | | | |
| | Energia de aquecimento | | | 463,37 | | | | | | | | |
| | Energia de arrefecimento | | | 0,00 | | | | | | | | |

